



НИЦ «Курчатовский институт»

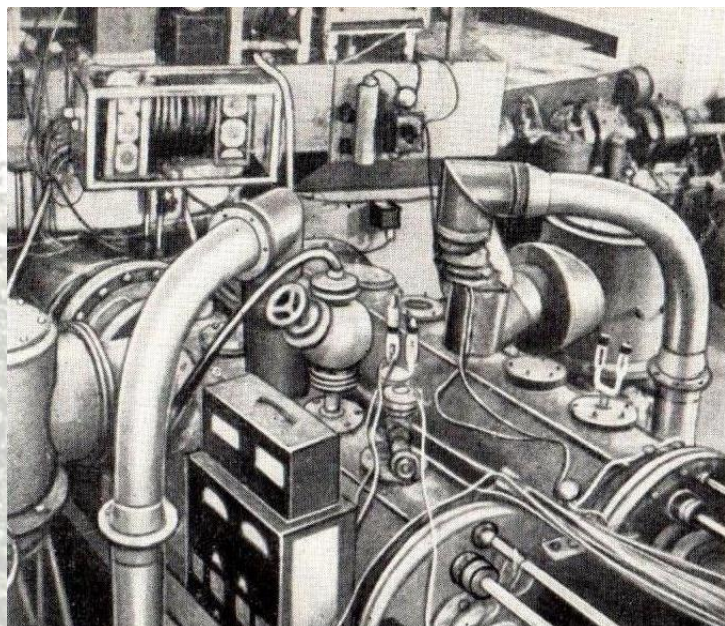
ФГБУ «Государственный научный Центр Российской Федерации
-Институт теоретической и экспериментальной физики»

Развитие ускорительных технологий

Кулевой Т.В.



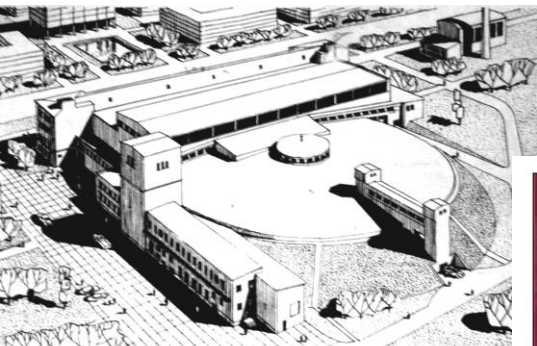
Первый ускоритель в ИТЭФ (1948)



Вес магнита, т	96.6
Диаметр магнита, м	1.2
Магнитное поле, Тл	1.6
Ускоряющая частота, МГц	10.5
Ускоряющее напряжение, кВ	100
Ускоряемые частицы	p, d, α
Энергия, МэВ	6,2 (p) 12,5 (d) 24 (α)
Ток пучка: на мишени, μA выведенный, μA	600 (d) 70 (d)



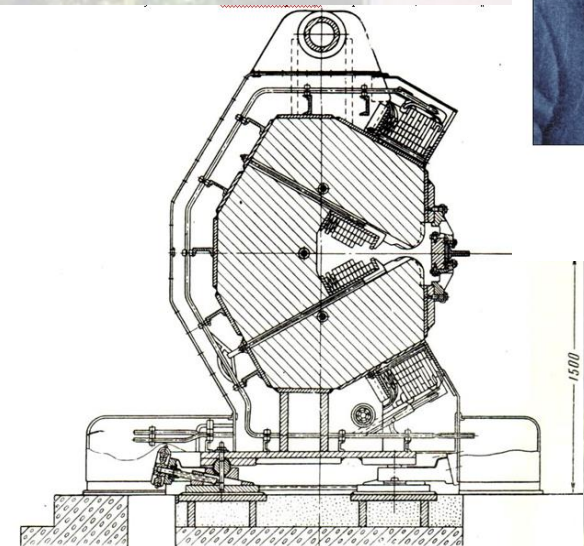
Первый в Евразии ускоритель с жесткой фокусировкой



Академик
Абрам Исаакович
Алиханов



Член-корреспондент АН
Василий Васильевич
Владимирский



Основные участники проекта:

Л.Л.Гольдин, Д.Г.Кошкарев, Е.К.Тарасов,
Ю.Ф.Орлов, А.П.Рудик, В.С.Курышев,
И.Ф.Клепов, В.М.Яковлев





Сооружение сильноточных линейных ускорителей И-2 и И=100



**Илья Михайлович
Капчинский**

Основные участники проекта:

В.К. Плотников, Н.В. Лазарев
Е.Н. Данильцев, В.А. Баталин,
В.И. Бобылев, В.И. Эдемский,
В.В. Колосков, Р.П. Куйбида,
А.А. Козодаев, Б.К. Кондратьев



1958 – начало строительства (параллельно с И-2)
27.04.1962 – основание ИФВЭ как филиала ИТЭФ
15.11.1963 – утверждение ИФВЭ
в качестве самостоятельного института
28.07.1967 – пуск ускорителя

1958 – начало строительства
02.11.1966 – пуск ускорителя
11.1967 – первая инжекция протонного пучка
в синхротрон У-7

«...При проектировании в пятидесятых годах линейных ускорителей стало ясно, что следует развивать теорию интенсивных протонных пучков. Очевидно, что в настоящее время теория интенсивных пучков, благодаря работам американских и западноевропейских ученых, хорошо развита. Однако в пятидесятых годах было голое поле. Наши предварительные результаты были доложены на Международной конференции в Женеве 1959 года. Впервые была решена задача о самосогласованном кулоновском поле пучка частиц в гладком фокусирующем канале и в канале со знакопеременным градиентом. Предложенное фазовое распределение в настоящее время широко используется в теории интенсивных пучков. В американской и западноевропейской литературе это фазовое распределение известно, как "**KV - distribution**" ...» (из воспоминаний И.М. Капчинского)



Награждения

Ленинская премия

за разработку и ввод в действие [протонного синхротрона ИФВЭ](#) на энергию 70 ГэВ

ИТЭФ - [Владимирский В.В.](#), [Кошкарёв Д.Г.](#),

РТИАН - [Кузьмин А. А.](#),

ИФВЭ - ; [Логунов А.А.](#), [Суляев Р.М.](#),

НИИЭФА - [Малышев И.Ф.](#)



· Государственная премия

за разработку, сооружение и ввод в действие линейного ускорителя протонов на энергию 100 МэВ — инжектора Серпуховского протонного синхротрона:

ИТЭФ- [Капчинский И. М.](#), [Плотников В. К.](#), [Лазарев Н. В.](#),

РТИАН- [Невяжский И.Х.](#), [Мурин Б.П.](#), [Поляков Б.И.](#), [Кульман В.Г.](#), [Басалаев М.И.](#),

ИФВЭ - [Ильевский С.А.](#), [Тишин В. Г.](#),

НИИЭФА - [Вахрушин Ю. П.](#), [Солнышков А. И.](#)



Государственная премия

за проектирование и создание инженерного комплекса Серпуховского протонного синхротрона ИФВЭ, включающего электромагниты, вакуумную систему, системы радиоэлектроники и специальные инженерные сооружения :

ИФВЭ - [Адо Ю.М.](#), [Мяэ Э.А.](#);

РТИАН - [Кузьмин В.Ф.](#), [Уваров В.А.](#);

НИИЭФА - [Мозалевский И.А.](#), [Попкович А.](#), [Титов В.А.](#)

НИИ - [Темкин А.С.](#);

ГКАЭ СССР - [Мещеряков К.Н.](#)

Монтажного треста - [Ширяев Ф.З.](#); [Мальцев С.Ф.](#), [Николаев С.Д.](#)



Переоборудование У-7 в У-10 (1973)



Результаты реконструкции

1. Изменение структуры кольца
2. Модернизация: ускоряющей системы.

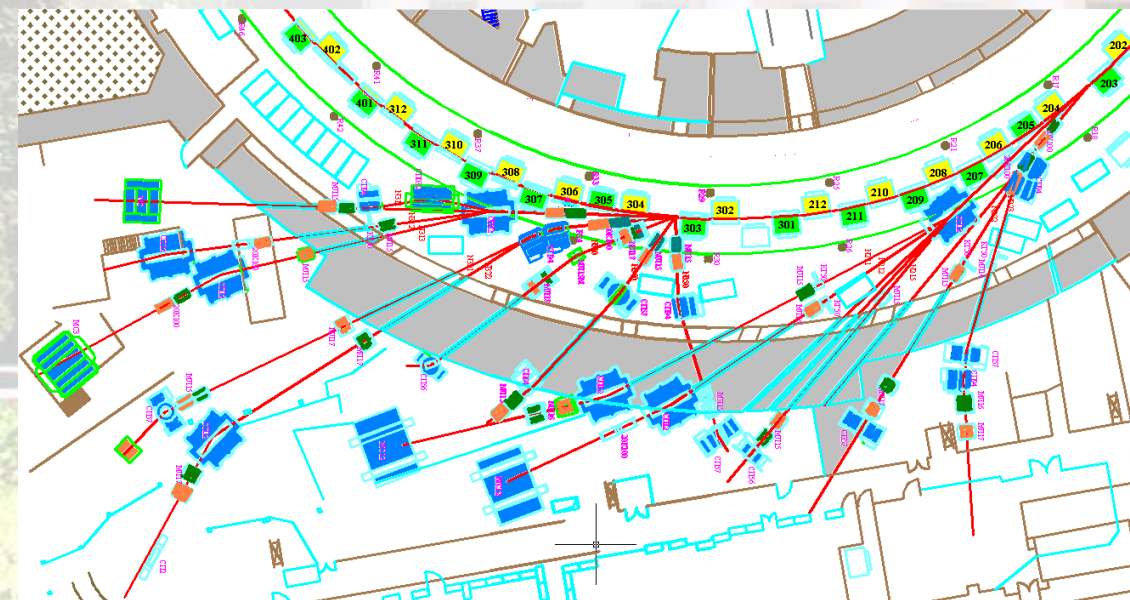


системы генерации циклов, вакуумной системы, внутренних мишеней, коррекции магнитного поля и др.



3. Расширение физических экспериментов
4. Компьютерное управление

Расширенная сеть каналов вывода пучка в БЭЗ



Макс. энергия, ГэВ	10
Магнитная жесткость кольца, Тл м	34
Длина орбиты, м	251.297
Число магнитных блоков	96
Макс. индукция поля, Тл	1,1
Структура магнитного кольца	FODO
Число периодов	48
Число суперпериодов	8
Прямолинейные промежутки:	
0,304 м	7x8
0,450 м	1x8
0,600 м,	2x8
2,350 м	2x8
Бетатронная частота	9,25
Макс. амплитудной функции, м	14,5
Макс. дисперсионной функции, м	1,8
Мин. Дисперсионной функции, м	-0,5
Крмтическая энергия, ГэВ	7,2
Хроматичность, гор./верт.	-5/-20
Акцептанс, гор./верт., π мм-мрад	80/50
Макс. интенсивность пучка, 1/имп	1.5×10^{12}



Линейный ускоритель с пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой RFQ

The Players



MICHIGAN STATE UNIVERSITY MICHIGAN STATE UNIVERSITY MICHIGAN STATE UNIVERSITY MICHIGAN STATE UNIVERSITY MICHIGAN STATE UNIVERSITY MICHIGAN STATE UNIVERSITY MICHIGAN STATE UNIVERSITY MICHIGAN STATE UNIVERSITY MICHIGAN STATE UNIVERSITY MICHIGAN STATE UNIVERSITY

ТЕХНИКА ЯДЕРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА
УДК 621.384.64
ЛИНЕЙНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ ИОНОВ С ПРОСТРАНСТВЕННО-ОДНОРОДНОЙ КВАДРУПОЛЬНОЙ ФОКУСИРОВКОЙ
И. И. ЛАЗАРЕВ, В. А. ТЕПЛЯКОВ

Представлен линейный ускоритель ионов в теории фокусировки и ускорения заряженных частиц пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой. Рассмотрены вопросы выбора параметров ускорителя, обеспечивающих максимальное увеличение энергии ионов, а также вопросы выбора параметров ускорителя, обеспечивающих максимальное увеличение энергии ионов.

В линейных ускорителях с квадрупольной фокусировкой системы облучения заряженных частиц, либо поперечная, либо продольная. При этом для обеспечения максимальной эффективности ускорения ионов необходимо использовать системы фокусировки частиц. В настоящее время наиболее распространены системы фокусировки частиц с помощью квадрупольных магнитов. В настоящее время наиболее распространены системы фокусировки частиц с помощью квадрупольных магнитов.

В настоящее время наиболее распространены системы фокусировки частиц с помощью квадрупольных магнитов. В настоящее время наиболее распространены системы фокусировки частиц с помощью квадрупольных магнитов.

Andrey (MRTI)



10th International Conference on High Energy Accelerators
Serpukov (Protvino)

1977 July

Swenson

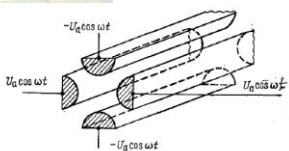
Lazarev (ITEP)

Kapchinskii (ITEP)

Teplyakov (Serpukov)

Photo Developed by CIA in Santa Fe

Lunch Talk 004/05/05

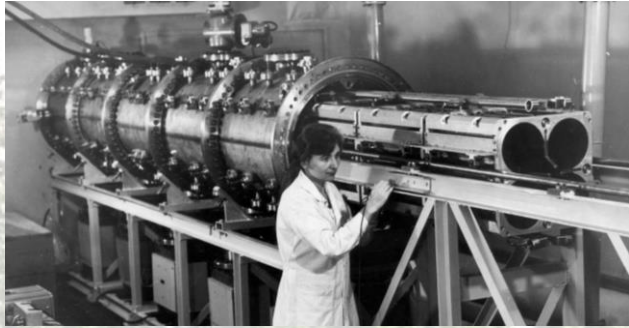


Код документа	О П И С А Н И Е 265312 ИЗОБРЕТЕНИЯ И АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ
Авторы изобретения	
В. В. Владимирский, И. И. Лазарев и В. А. Тепляков	
ЛИНЕЙНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ ИОНОВ	
Предмет изобретения	
1. Линейный ускоритель ионов, содержащий квадрупольную фокусирующую и ускоряющую системы, отличающийся тем, что, с целью уменьшения допустимого нижнего уровня энергии инжекции, квадрупольная фокусирующая и ускоряющая системы выполнены в виде четырехпроводной длинной линии, у которой расстояние между двумя проводами, лежащими в одной плоскости с осью ускорителя, изменяется по длине линии так, что, где расстояние между проводами одной пары минимальное, между проводами другой — максимальное.	
2. Ускоритель по п. 1, отличающийся тем, что резонатор выполнен в виде цилиндра, разделенного радиальными перегородками на четыре одинаковые камеры.	



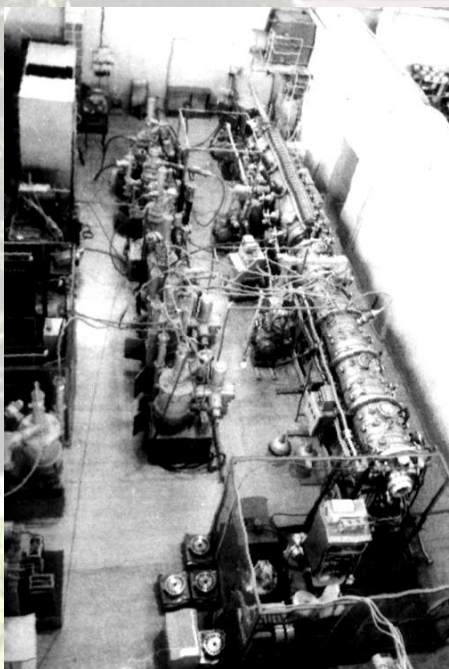
Линейный ускоритель протонов ИСТРА-56

Первый полномасштабный ускоритель с ПОКФ и 4-камерным резонатором – НЧУ-1.



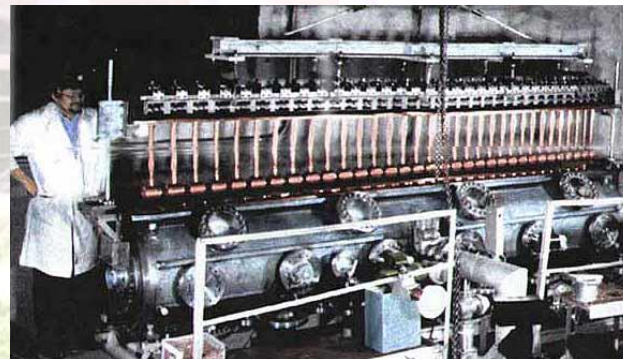
Параметр	RF Q	DTL 1	DTL2	DTL3
Энергия, МэВ	0.08 -3.0	3.0- 10.3	10.3- 36.3	36.4- 56,6
Резонансная частота, МГц	148.5	297		
Длина резонатора, м	4.5	3.9	11.7	9.2
Диаметр резонатора, мм	449	650	630	580
Диаметр трубок дрейфа, мм	-	100	85	85
Рабочая апертура, мм	15	18	18	24
Импульсный ток пучка, мА	200			
Частота повторения импульсов, Гц	25			
Средний ток ускоренного пучка, μ А	500			

ИСТРА-10

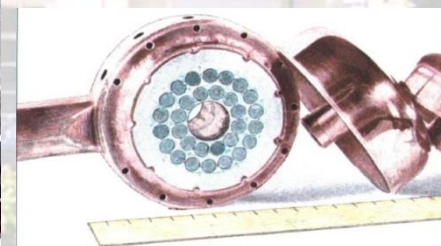


Секция НЧУ-2:

Резонатор DTL1 и линия трубок дрейфа



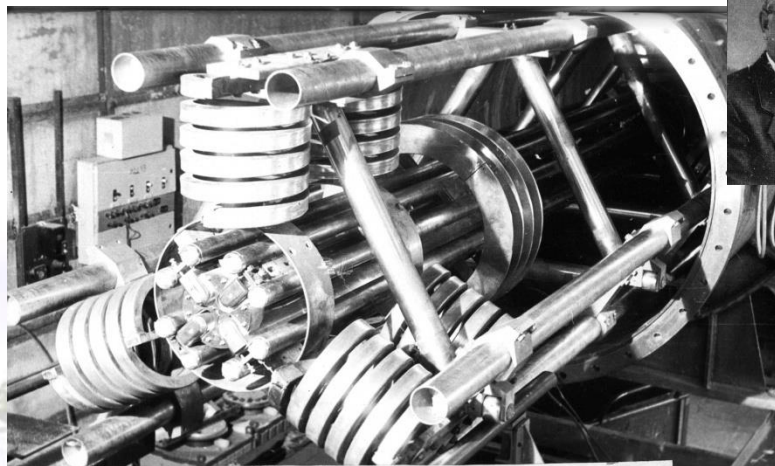
Дрейфовая трубка с ПМК-линзой



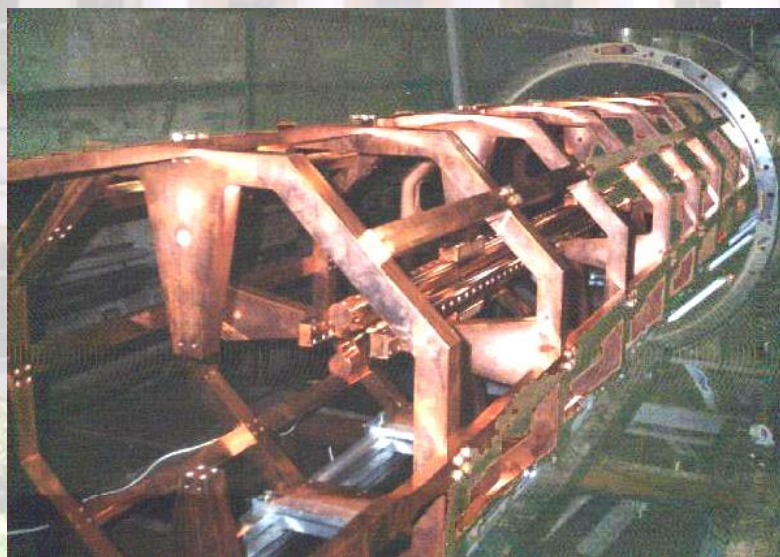


Ускоритель тяжелых ионов

6.19 МГц RFQ 1986 г.



«4-лестничной» (4-Ladder RFQ) 1999 г.



Z/A ускоряемых ионов	≥1/60
Энергия инжекции, кэВ/н	2.2
Выходная энергия, кэВ/н	101
Резонансная частота, МГц	27
Длина резонатора, м	12
Внутренний диаметр, м	1.2
Радиус апертуры, мм	6.4
Шунтовой импеданс, МΩ м	1.49
Трансмиссия при 15 мА, %	96
Ширина импульса пучка, мс	15 - 450
Средний ток пучка, мА	1.5

Z/A ускоряемых ионов	≥1/92
Энергия инжекции, кэВ/н	0.95
Выходная энергия, кэВ/н	36
Резонансная частота, МГц	6.19
Длина резонатора, м	12
Внутренний диаметр, м	1.2
Радиус апертуры, мм	14.67
Трансмиссия при 30 мА, %	96
Ширина импульса пучка, мс	15 - 150
Средний ток пучка, мА	1.1

United States Patent [19] Andreev

[54] STRUCTURE FOR ACCELERATING HEAVY IONS WITH UNIFORMLY SPACED QUADRUPOLE FOCUSING (USQF)

[75] Inventor: Vladimir A. Andreev, Moscow, Russian Federation

[73] Assignees: Axelerator, Inc., Irvine, Calif.; Institute for Theoretical and Experimental Physics, Moscow, Russian Federation

[21] Appl. No.: 118,523

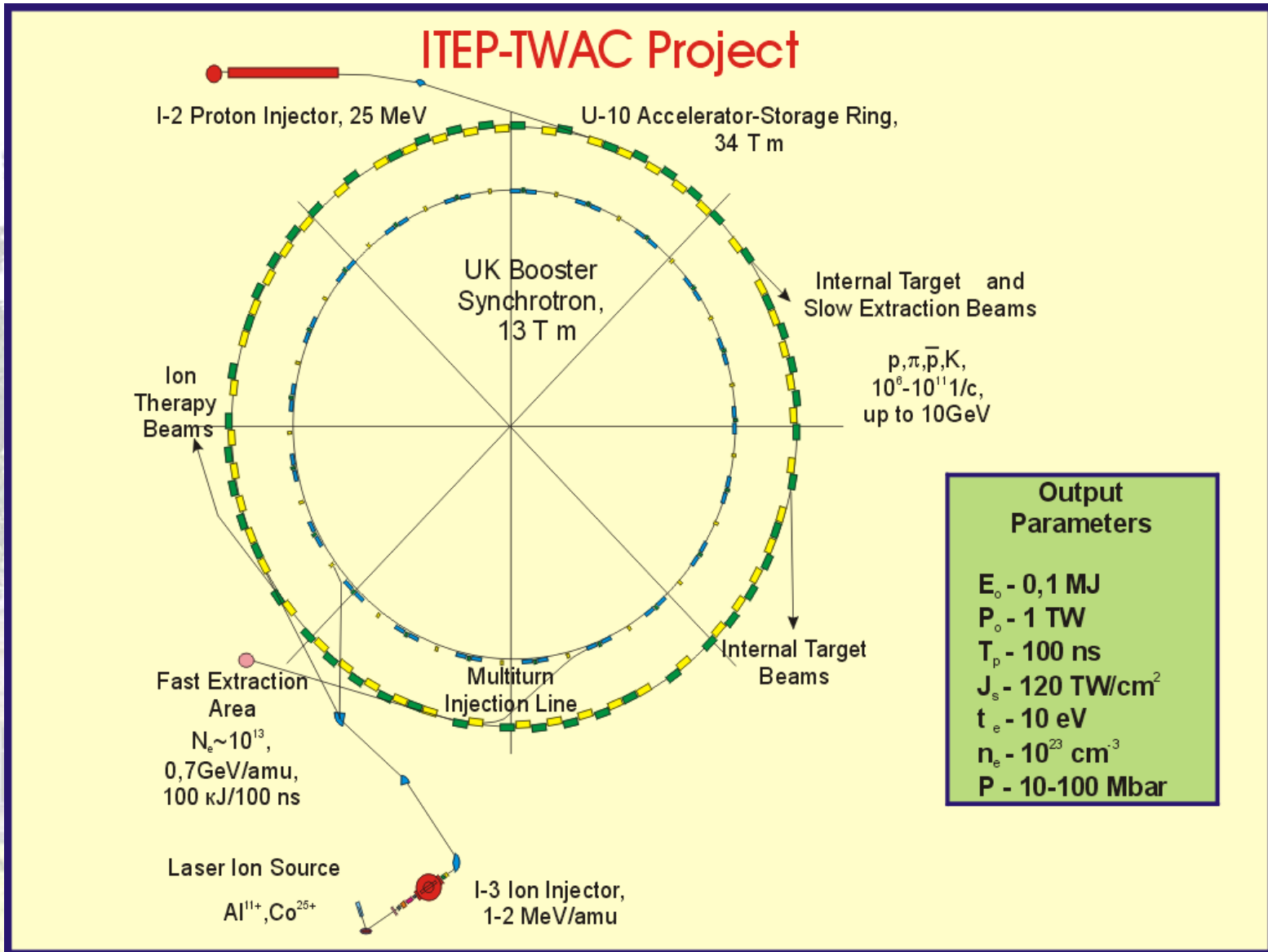
[22] Filed: Sep. 9, 1993

[30] Foreign Application Priority Data

Sep. 9, 1992 [SU] U.S.S.R. 4165749



Комплекс ИТЭФ-ТВН (1998-2011)





За создание ускорительно-накопительного комплекса ИТЭФ-ТВН



Н.Н. Алексееву,
Б.Ю. Шаркову,

В.П. Заводову,
А.В. Шумшурову,

Ю.А. Сатову,
В.А. Щеголеву



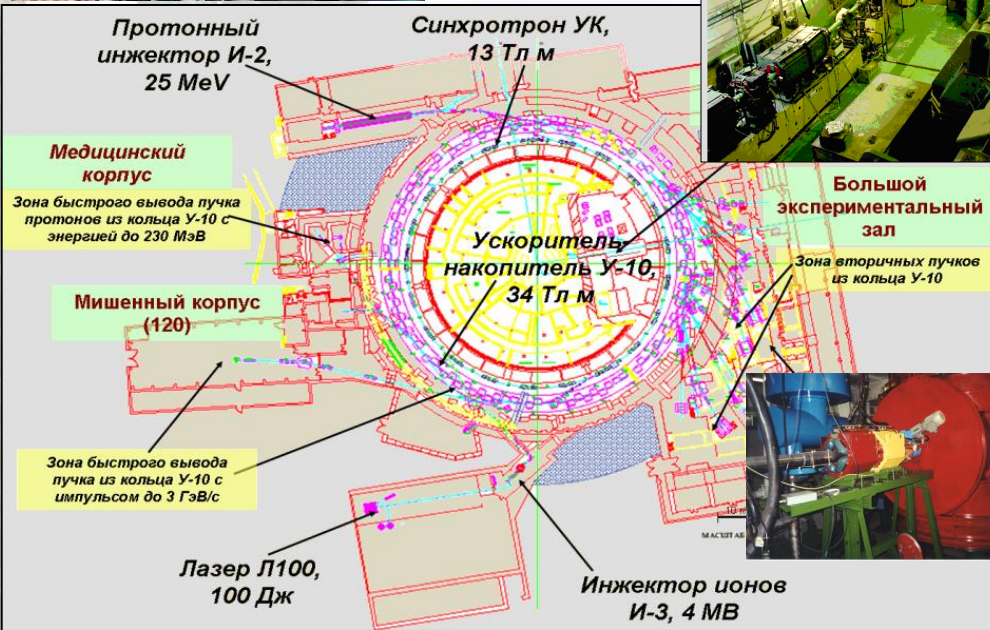
Протонный инжектор И-2, 25 MeV

Синхротрон УК, 13 Тл м



Бустерный синхротрон УК, построен в 1989

Ускоритель-накопитель У-10, построен в 1961, реконструирован в 1973, 1999



Медицинский корпус

Зона быстрого вывода пучка протонов из кольца У-10 с энергией до 230 МэВ

Мишени корпус (120)

Зона быстрого вывода пучка из кольца У-10 с импульсом до 3 ГэВ/с

Лазер Л1100, 100 Дж

Инжектор ионов И-3, 4 МВ

Большой экспериментальный зал

Зона вторичных пучков из кольца У-10



Характеристики комплекса

Ускоритель протонов

Выходная энергия до 9,3 ГэВ

Интенсивность 10^{11} p/c

Энергия инжекции (И-2) 25 МэВ

Использование пучка:

Внутренние мишени,
медленный вывод (до 9,3 ГэВ)

Быстрый вывод (до 3 ГэВ)

Медицинский вывод (до 250 МэВ)

Ускоритель ионов

Выходная энергия до 4,3 ГэВ/н

Интенсивность 10^8

Энергия прединжекции (резонатор И-3) 4 МВ

Энергия инжекции (бустер УК) 20-50 МэВ/н

Использование пучка

внутренние мишени...

Накопитель ионов

$^{12}\text{C}^{6+}$ до энергии 400 МэВ/н (интен. 2×10^9),
 $^{27}\text{Al}^{13+}$ (250 МэВ/н, 10^8), $^{56}\text{Fe}^{26+}$ (230 МэВ/н, 10^8)

Энергия инжекции (резонатор И-3) 4 МВ

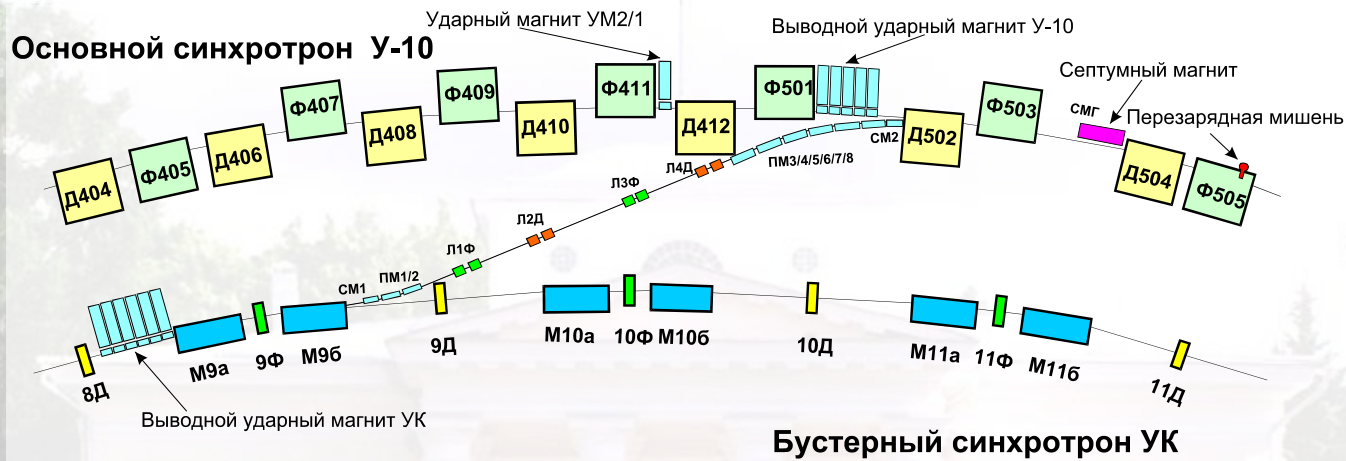
Энергия инжекции (бустер УК) 400-700 МэВ/н

Использование пучка - Быстрый вывод



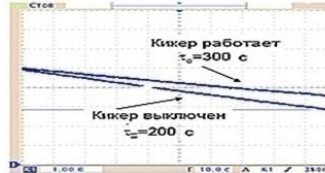
Премия РАН им. В.И. Векслера, за создание системы перезарядной инжекции и изучение процессов нелиувиллевского накопления ИОНОВ

Н.Н. Алексеву, Д.Г. Кошкарёву и Б.Ю. Шаркову

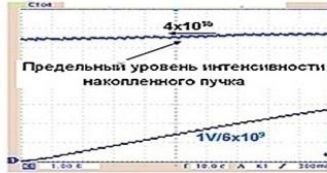


	C	Al	Si	Fe
Энергия, МэВ/н	300	265	240	230
Интенсивность инжекции	$\sim 6 \cdot 10^8$	$\sim 1 \cdot 10^8$	$\sim 5 \cdot 10^7$	$\sim 1 \cdot 10^8$
Частота импульсов	3	4		
Акцептанс, п-мм-мрад	10			
Вакуум, Торр	$\sim 1 \cdot 10^{-8}$			
Фактор накопления	70	~ 30	~ 20	~ 10
Макс. интенсивность	$\sim 4 \cdot 10^{10}$	$\sim 3 \cdot 10^9$	$\sim 1 \cdot 10^9$	$\sim 1 \cdot 10^9$

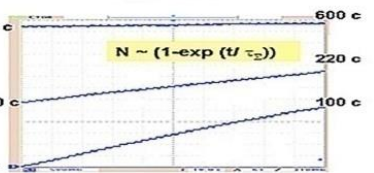
Время жизни пучка ядер C^{6+} накопленного в кольце У-10



Максимальная интенсивность накопленного пучка, $k_{с} \Rightarrow 70$



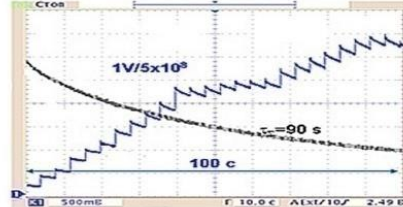
Рост интенсивности пучка от времени



Лестница интенсивности ядер C^{6+} при накоплении в У-10 (2006)



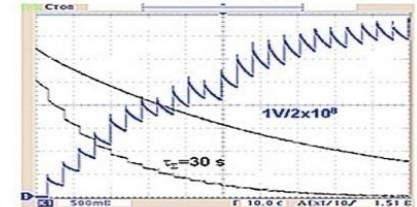
$Al^{10+} \Rightarrow Al^{13+}$



$Si^{10+} \Rightarrow Si^{14+}$



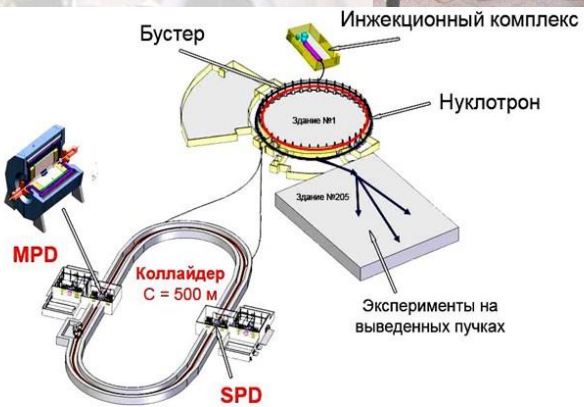
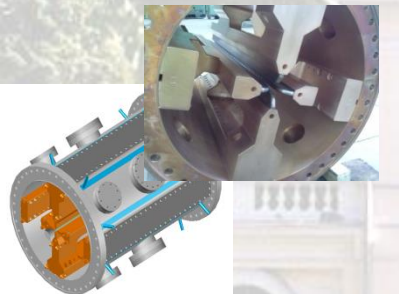
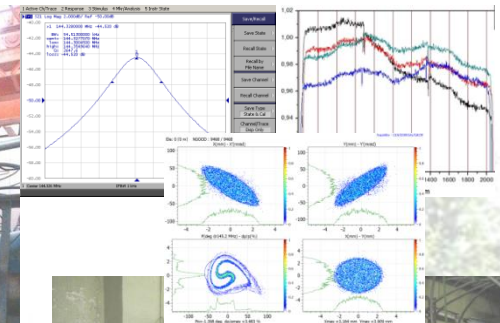
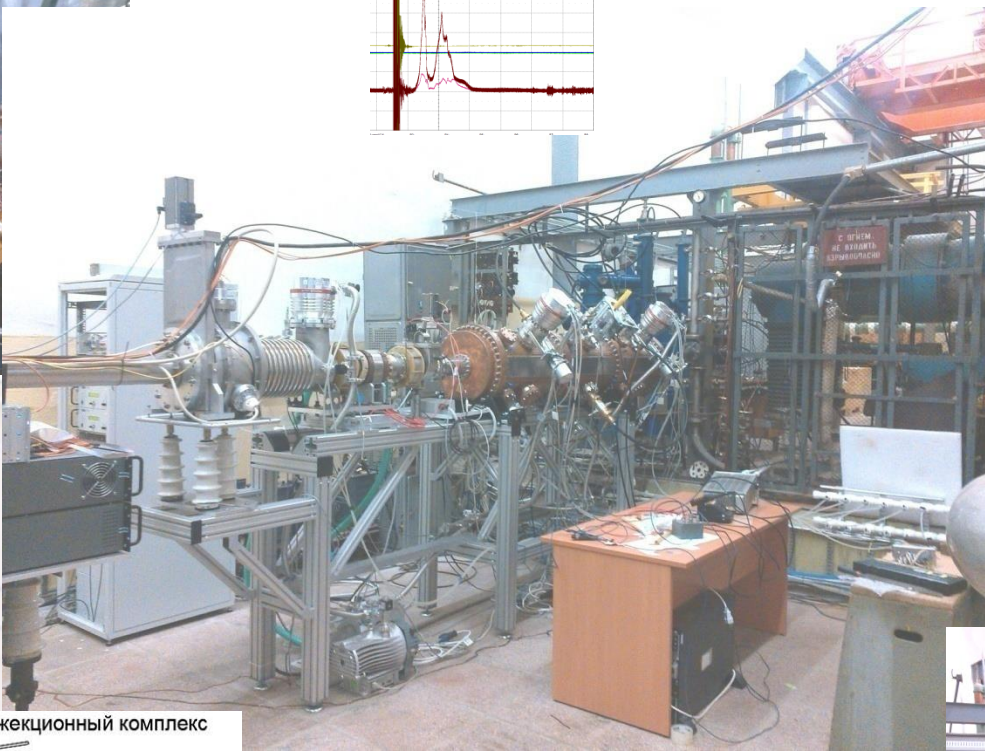
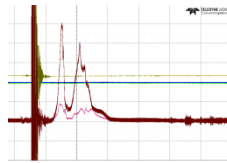
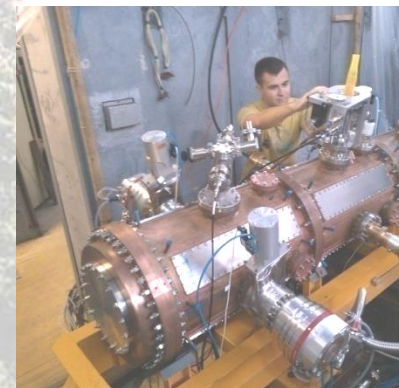
$Fe^{16+} \Rightarrow Fe^{26+}$





Проект НИКА (ОИЯИ)

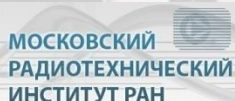
RFQ - форинжектор для ЛУ-20, инжектора СП ускорителя Нуклотрон



Трансмиссия канала, %					
$Z/A=0.5; I_{инж}=20 \text{ mA}$			$Z/A=0.3; I_{инж}=10 \text{ mA}$		
FQ out	MEBT (out)	ЛУ-20 (inp)	RFQ (out)	MEBT (out)	ЛУ-20 (inp)
89	81	60	93	92	80



Сотрудничество с ведущими мировыми центрами ускорительных компетенций





СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

