



Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт" Институт теоретической и экспериментальной физики Развитие ускорителей в ИТЭФ



Инжекционные установки

Сооружение первых в СССР сильноточных жесткофокусирующих инжекторов протонов

Первый в СССР линейный ускоритель с жесткой фокусировкой И-2 был запущен в 1966 г. Энергия протонов на его выходе равнялась 25 МэВ, максимальный импульсный ток 200 мА был рекордным для того времени. Ускоритель И-2 стал сильноточным высокоэнергетичным инжектором для протонного синхротрона У-7 (У-10).

Его собрат – И-100 – самый мощный в то время линейный ускоритель на энергию 100 МэВ, ставший инжектором протонного синхротрона У-70 (ИФВЭ, Протвино), создан под научным руководством ИТЭФ.

За научное руководство и участие в разработке И-100 И.М. Капчинскому, Н.В. Лазареву и В.К. Плотникову присуждена Государственная премия

Генерирование высокозарядных ионов

В ИТЭФ развита передовая технология генерирования ионов с использованием излучения мощных CO₂ лазеров. Лазер Л-100 с энергией 100 Дж позволяет получать потоки тяжелых ионов широкого диапазона масс и зарядностей.

Постоянные магниты для фокусирующих каналов инжекторов

ИТЭФ является лидером разработки магнитотвердых мультипольных линз, которые не требуют электропитания и могут формировать неизменяемые или регулируемые магнитные поля до 2,5 Т с точностью конфигурации до 0,05%.

Кольцевые ускорители

Первый в Евразии ускоритель с жесткой фокусировкой

С использованием жесткой фокусировки, совершившей переворот в физике и технике ускорения, в 1961 г. сооружен протонный синхротрон У-7, который после реконструкции и преобразования в У-10 ускорял частицы до энергии 10 ГэВ при рекордной в то время интенсивности 1,5·10¹² 1/имп

У-7 был прототипом самого мощного тогда протонного синхротрона У-70 (на энергию 70 ГэВ), сооруженного в ИФВЭ по физическому проекту, разработанному в ИТЭФ.

За научное руководство разработкой ускорителя У-70, В.В. Владимирскому и Д.Г. Кошкареву присуждена Ленинская премия

Уникальный тяжелоионный ускорительно-накопительный комплекс ТВН

Пионерская работа по созданию комплекса ТВН с реализацией предложенной в ИТЭФ многократной перезарядки тяжелых ионов дала возможность получать экстремальную концентрацию ядер в пучке.

Перезарядное накопление тяжелых ионов

Создание системы перезарядной инжекции и изучение процессов нелинейного накопления ионов отмечено РАН премией им. В.И. Векслера, которой удостоены Н.Н. Алексеев, Д.Г. Кошкарев и Б.Ю. Шарков

За создание ускорительно-накопительного комплекса Н. Н. Алексееву, В.П. Заводову, Ю.А. Сатову, Б.Ю. Шаркову, А.В. Шумшурову, В.А. Щеголеву присуждена премия Правительства Российской Федерации в области науки и техники 2010 г.

Ускорители ионов с ПОКФ (RFQ)

Ускорители ионов с ПОКФ (RFQ). Первый в Евразии ускоритель с ПОКФ на основе четырехкамерного резонатора

Пространственно-однородная квадрупольная фокусировка ПОКФ (известная как Radio Frequency Quadruples – RFQ), изобретенная В.В. Владимирским, И.М. Капчинским (ИТЭФ) и В.А. Тепляковым (ИФВЭ), совершила переворот в технике и физике ускорения ионов при низких энергиях и открыла возможность создания высокоэнергетических ускорителей.

Изобретение признано открытием, за которое авторы в 1988 г. были удостоены Ленинской премии

Первый на территории Евразии протонный ускоритель с ПОКФ на основе четырехкамерного резонатора запущен в ИТЭФ в 1982 г. При выходной энергии 3 МэВ на нем получено рекордное значение импульсного тока пучка – 237 мА.

Ускоритель с ПОКФ на средний ток до 2 мА

Передовая технология изготовления резонатора и вакуумного корпуса в виде единого триметаллического цилиндра позволила создать ускоритель с ПОКФ на повышенный средний ток. Ускоритель разработан и успешно прошел этап физического пуска как начальная часть прототипа сильноточного ускорителя «Истра».

Тяжелоионные ускорители на основе разработанного в ИТЭФ четырехкамерного резонатора с окнами связи

Тяжелоионный импульсный прототип (ТИПр) сильноточной машины ускоряет ионы с отношением Z/A ≥ 1/60 (Cu²⁺, Cu³⁺, U⁴⁺, C²⁺ и др.) до энергии 110 кэВ/н.

Ускоритель И-4 предназначен для ускорения любых ионов с отношением Z/A ≥ 1/3 до энергии 1,6 МэВ/н при импульсном токе до 100 мА.



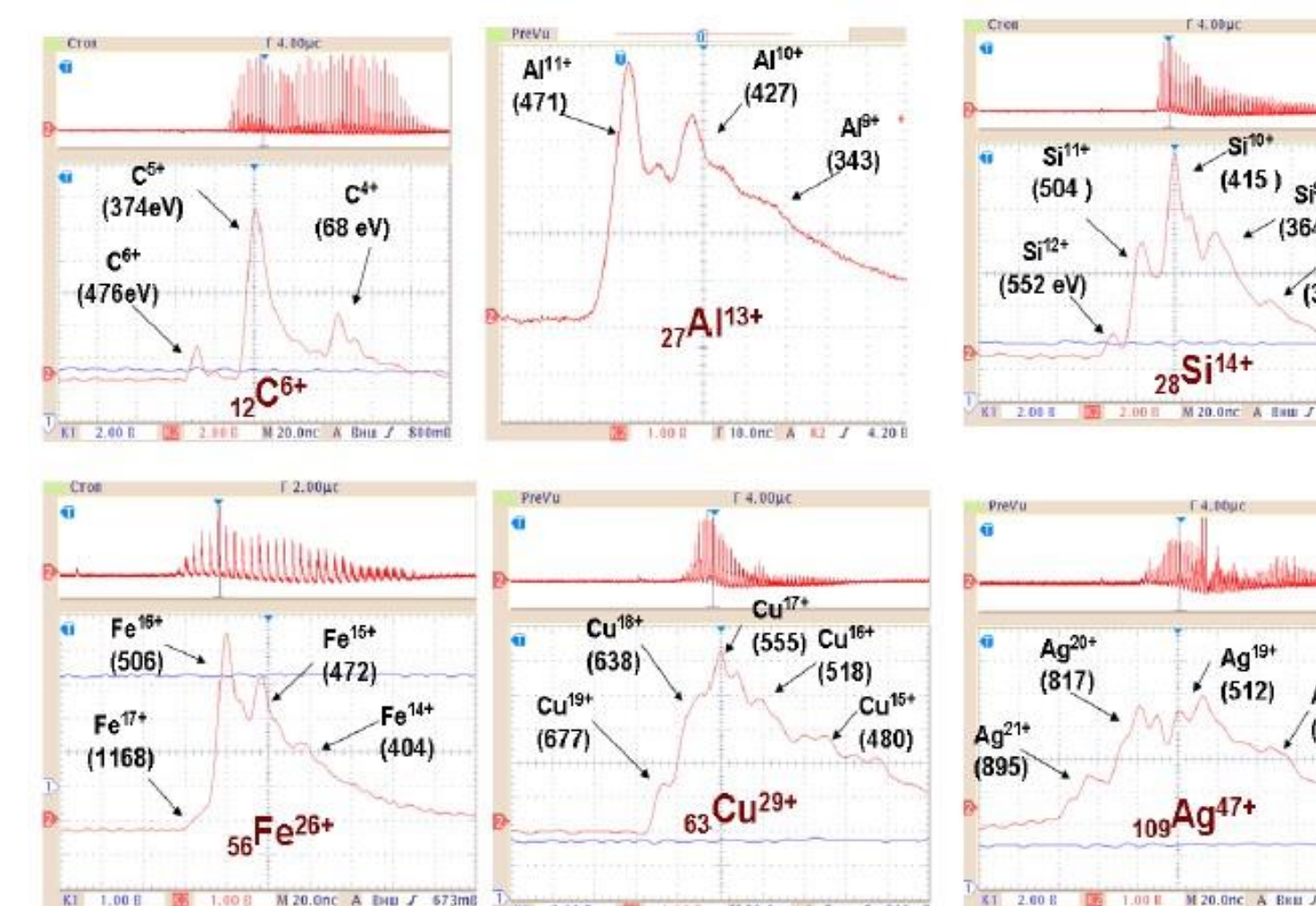
Ускоритель И-2



Ускоритель И-100



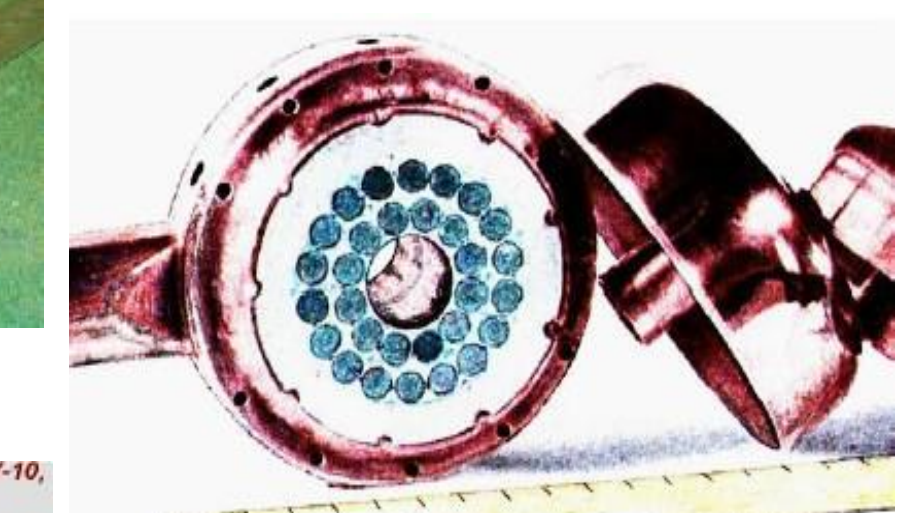
CO₂ лазер Л-100



Зарядовый спектр генерируемых ионов



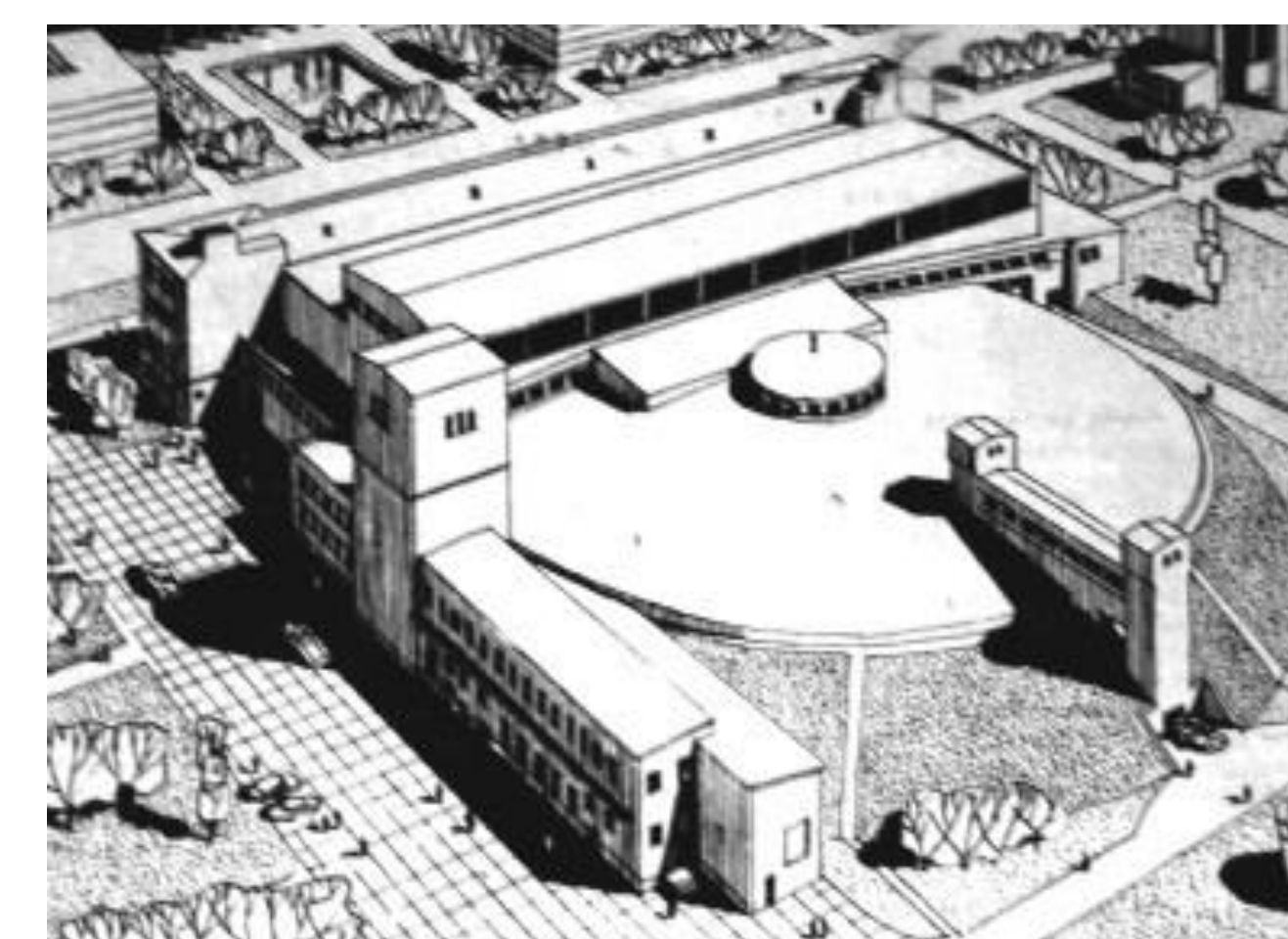
Магнитотвердые линзы



Линза в трубке дрейфа



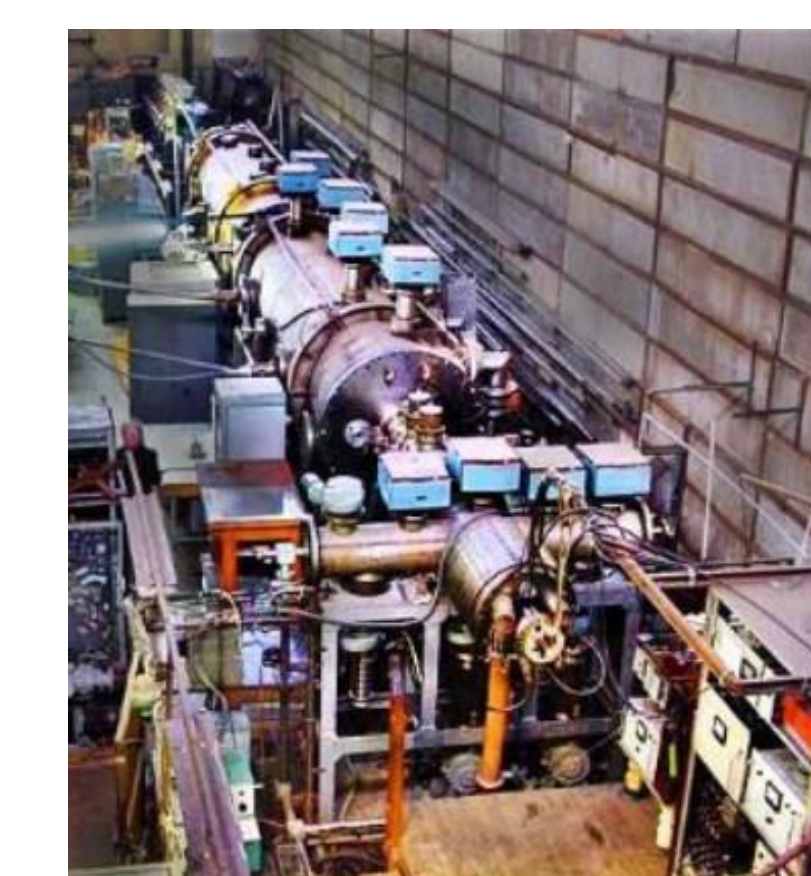
Магнитный зал ускорителя



Ускорительный комплекс

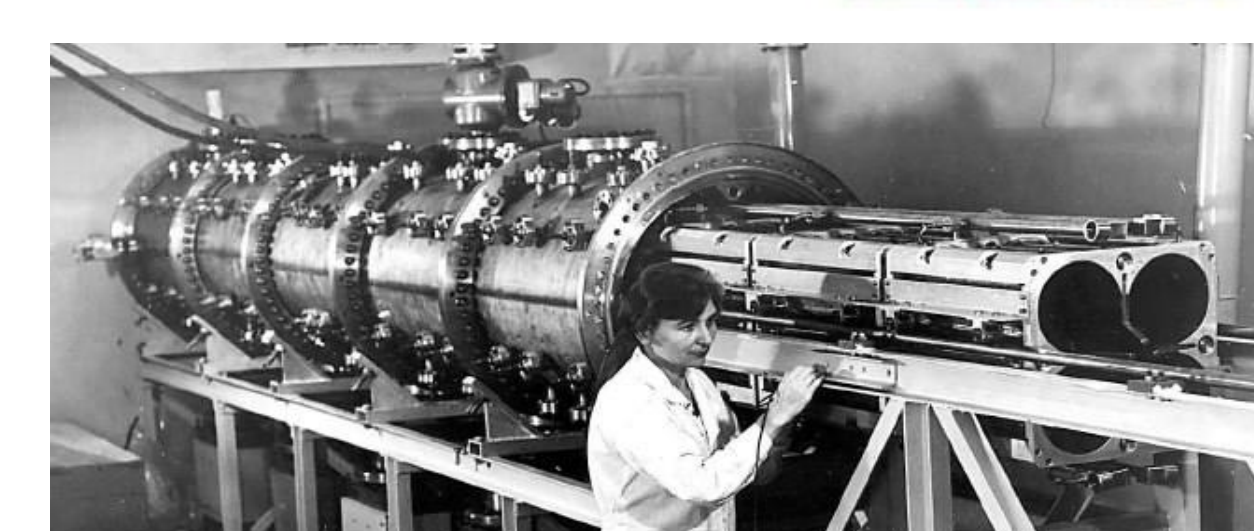
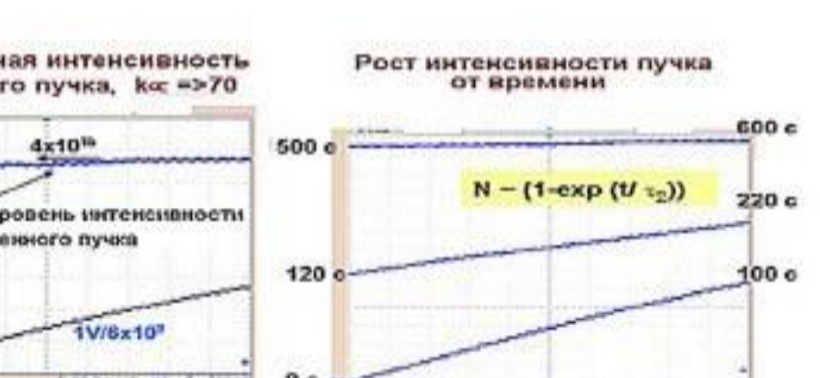
Направления исследований на пучках протонов и ионов	Пучки	Пучковое время, часов		
		2009	2010	2011
Адронная физика и релятивистская ядерная физика	p (2,9 ГэВ, 10 ¹¹ с ⁻¹) C (4 ГэВ/н, 10 ⁹ с ⁻¹)	1100	850	702
Методические исследования	p (1-9 ГэВ, 10 ¹¹ с ⁻¹) C, Fe(0,2-4 ГэВ/н, 10 ⁹ с ⁻¹)	2100	2045	2450
Физика высокой плотности энергии в веществе	C, Al, Si, Fe (300 МэВ/н, 4x10 ¹⁰ с ⁻¹)	350	330	288
Радиобиология и медицинская физика	p (250 МэВ, 10 ¹¹ с ⁻¹) C (200-400 МэВ/н, 10 ⁹ с ⁻¹)	2150	2040	2320
Протонная терапия	p (250 МэВ, 10 ¹¹ с ⁻¹)			
Радиационная обработка материалов	p (20-800 МэВ, 10 ¹¹ с ⁻¹) Fe, Ag (40-200 МэВ/н, 10 ⁹ с ⁻¹)	1100	550	779
Всего		6800	5815	6539

Статистика работы комплекса ИТЭФ-ТВН

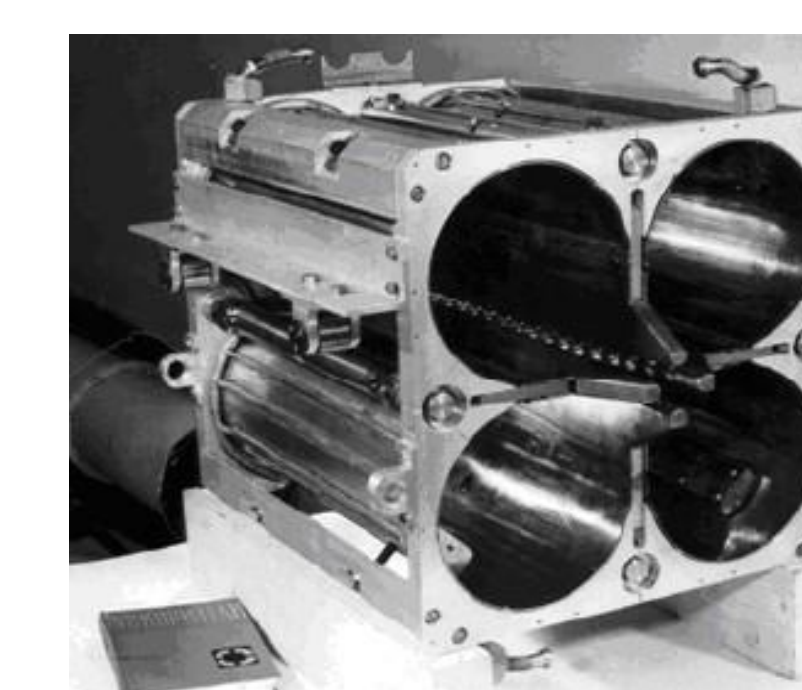


Ускоритель ТИПр

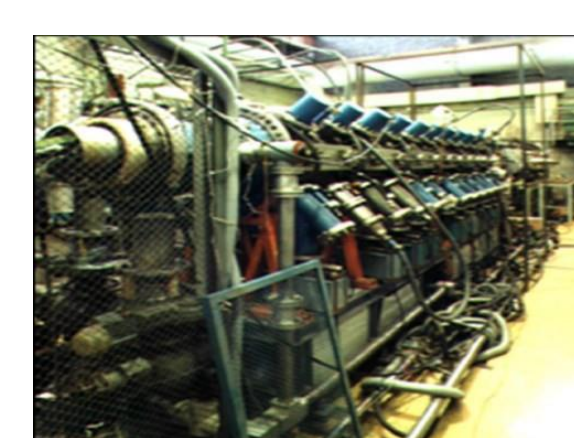
	C	Al	Si	Fe
Энергия, МэВ/н	300	265	240	230
Интенсивность ионизации	~6·10 ⁸	~1·10 ⁸	~5·10 ⁷	~1·10 ⁷
Частота импульсов	3	4		
Акселерант, т.м.мрад	10			
Вакуум, Торр	~1·10 ⁻⁸			
Фактор накопления	70	-30	-20	-10
Макс. накопительность	~4·10 ¹⁰	~3·10 ⁹	~1·10 ⁸	~1·10 ⁷



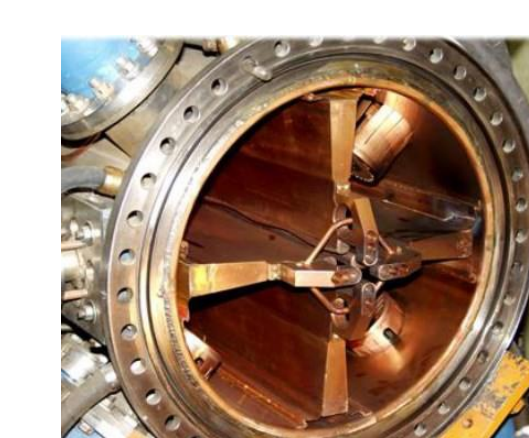
Ускоритель с ПОКФ перед запуском



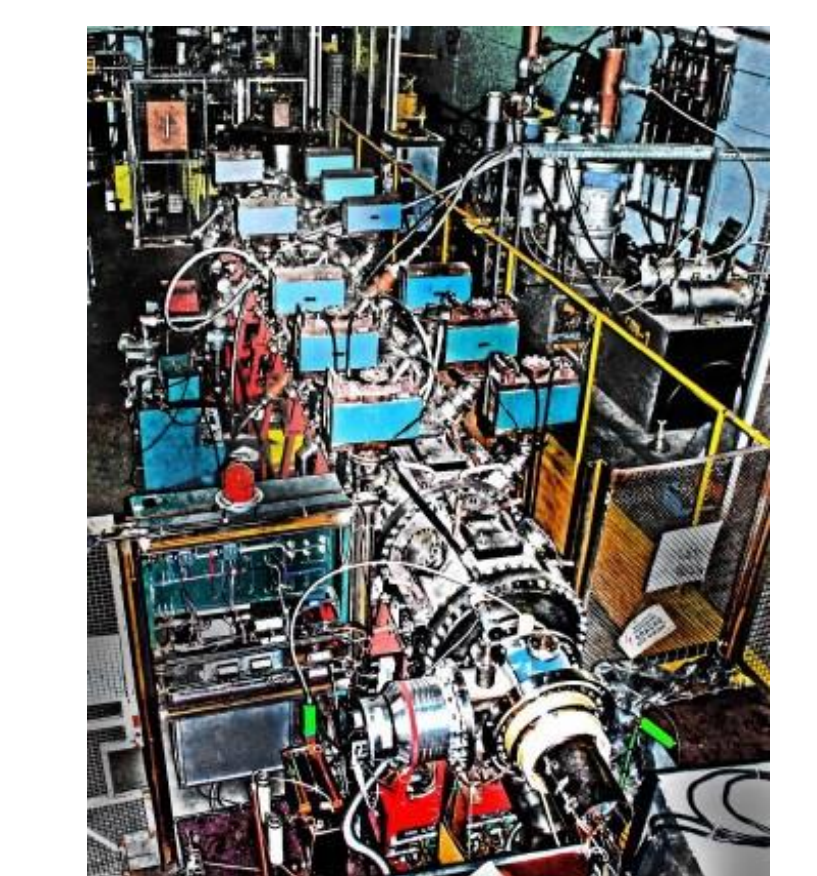
Секция ускорителя



Общий вид ускорителя



Выходной узел ускорителя



Ускоритель И-4