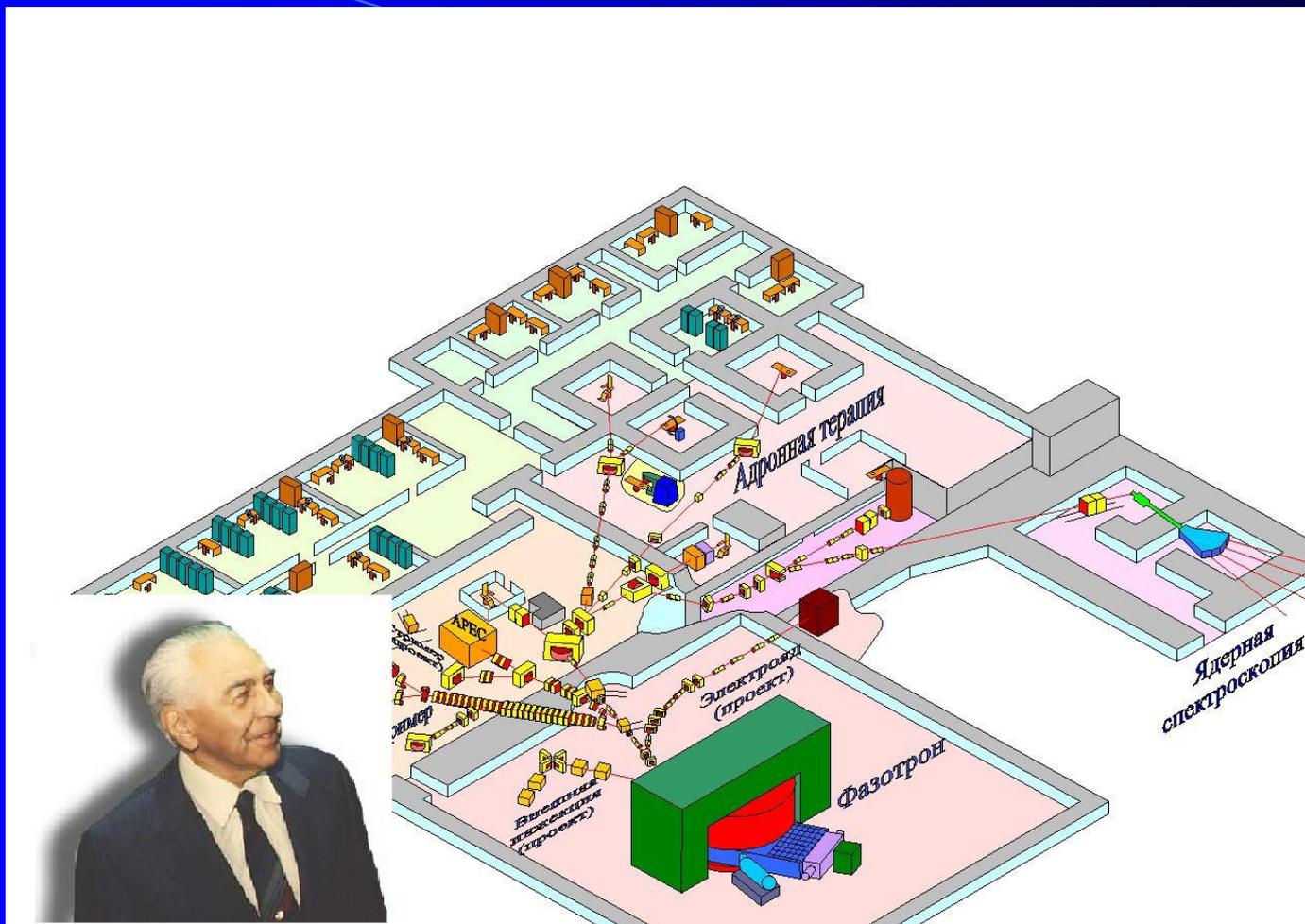


***Система контроля
параметров протонного пучка
при радиотерапии***

Г.В. Мицын

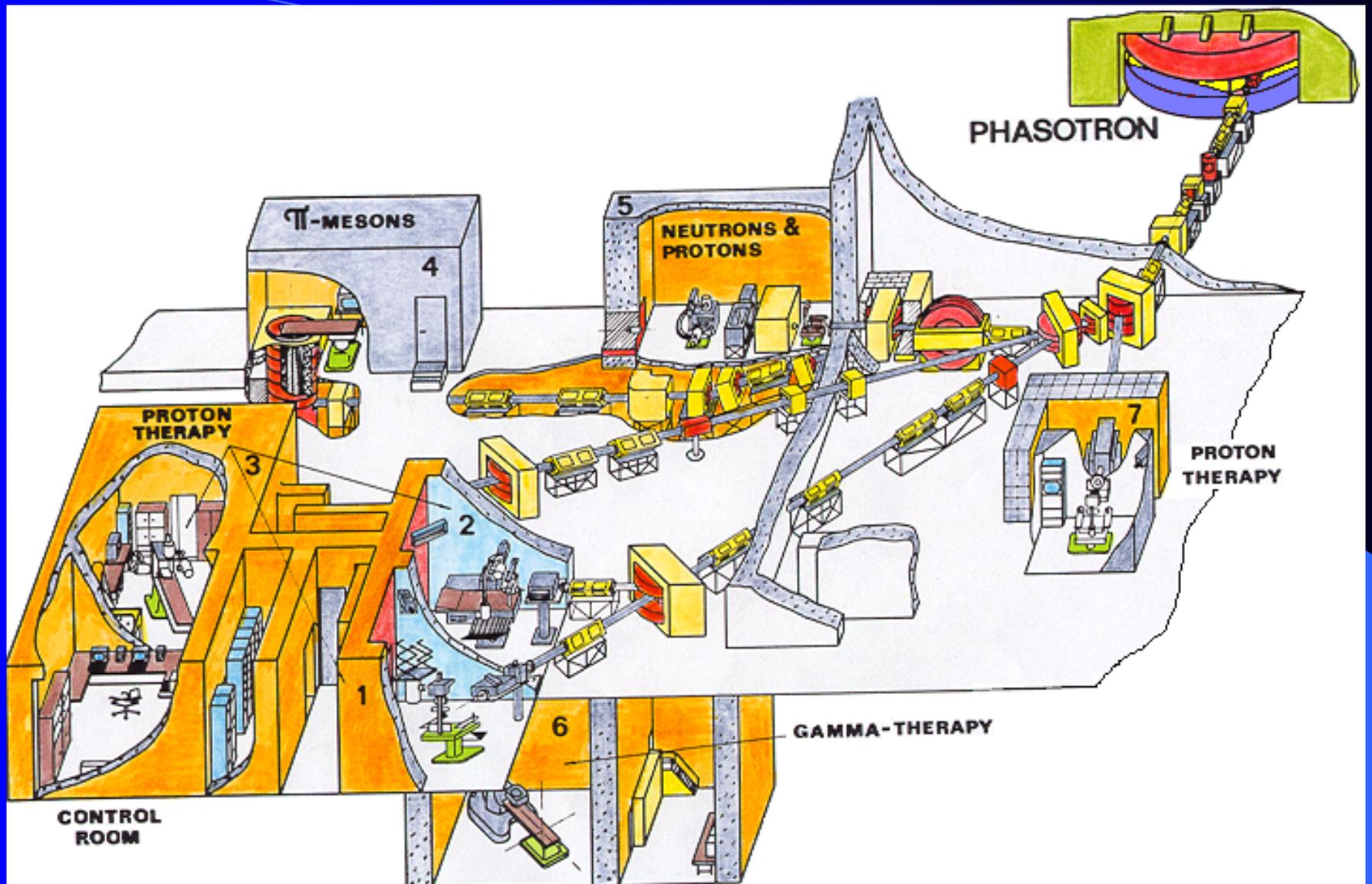
Объединенный институт ядерных исследований



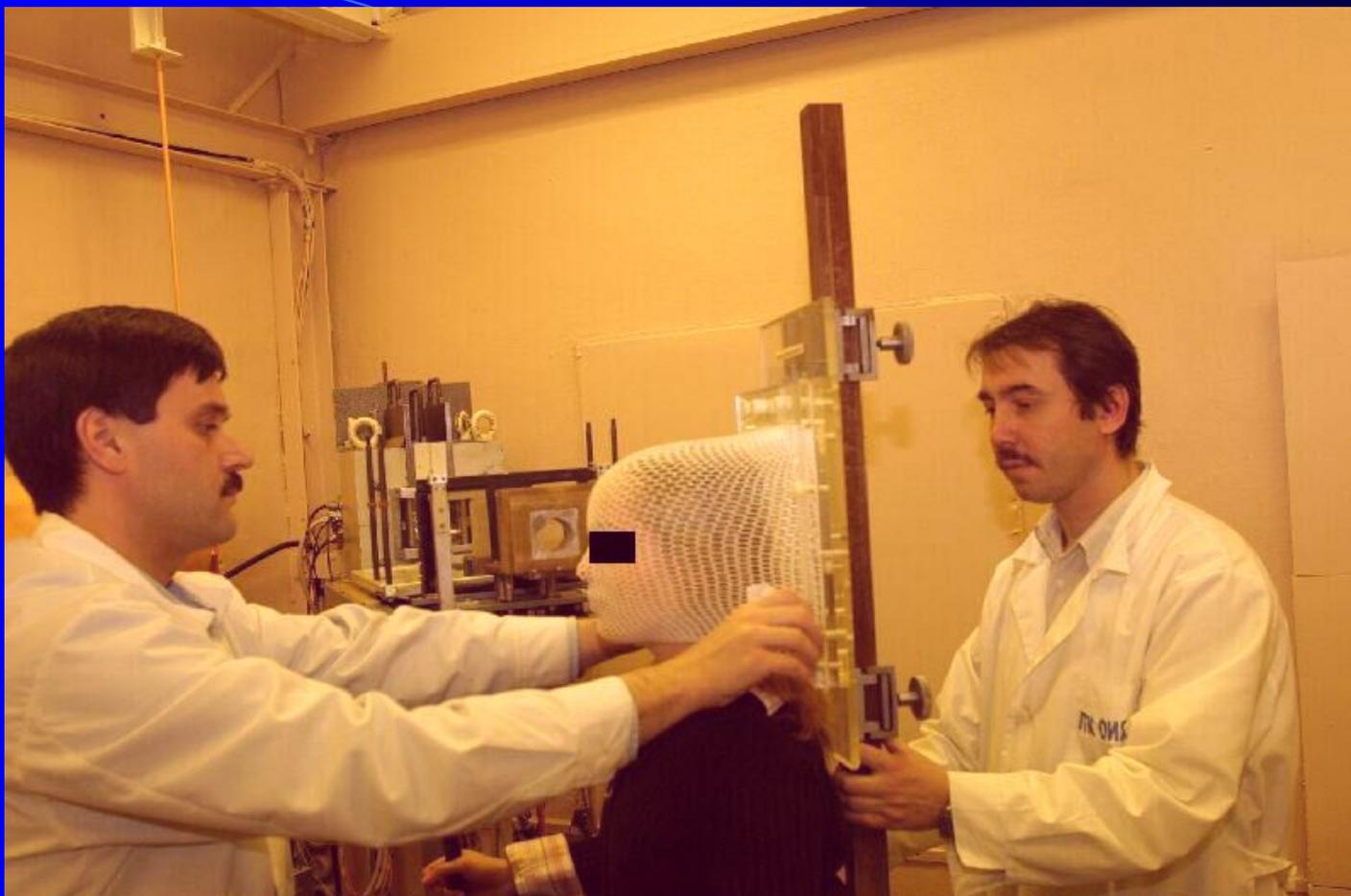
Первые исследования по использованию протонных пучков для радиотерапии были начаты в ЛЯП ОИЯИ в 1967 г. по инициативе В.П. Джелепова



Протонный ускоритель (фазотрон) на энергию 660 МэВ

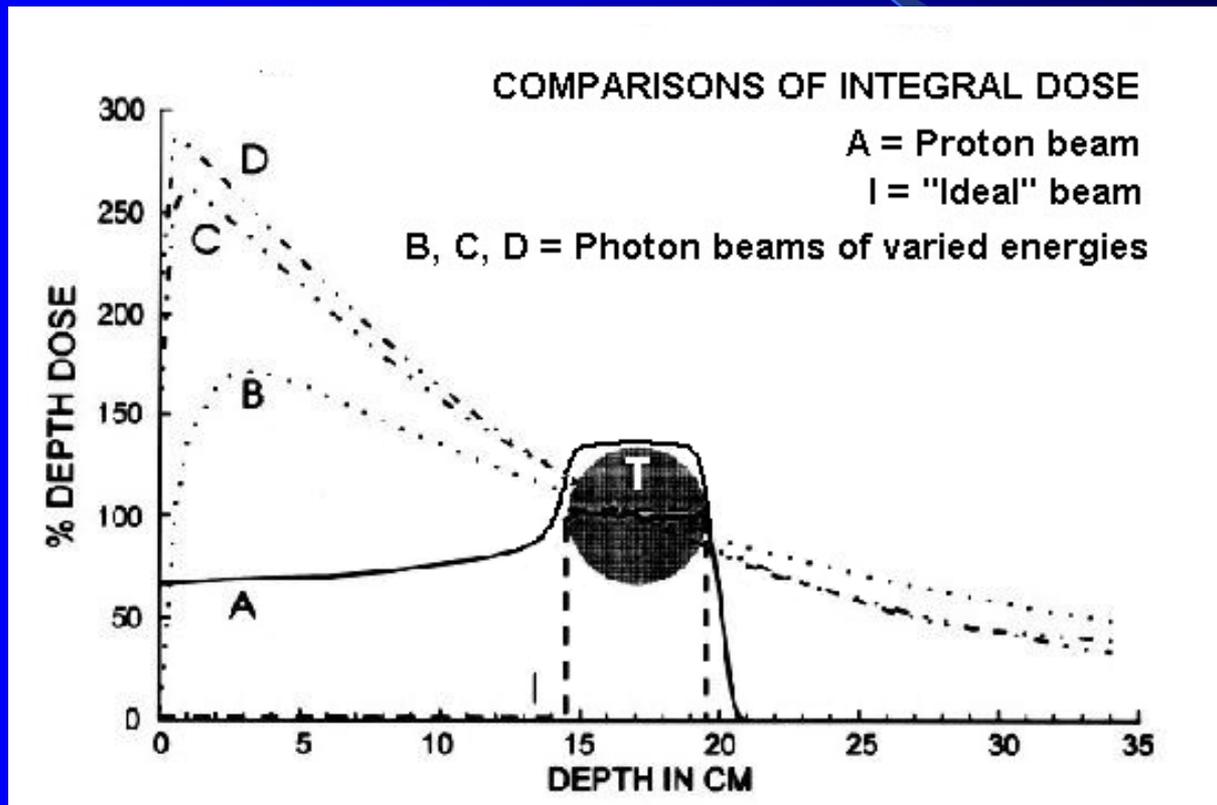


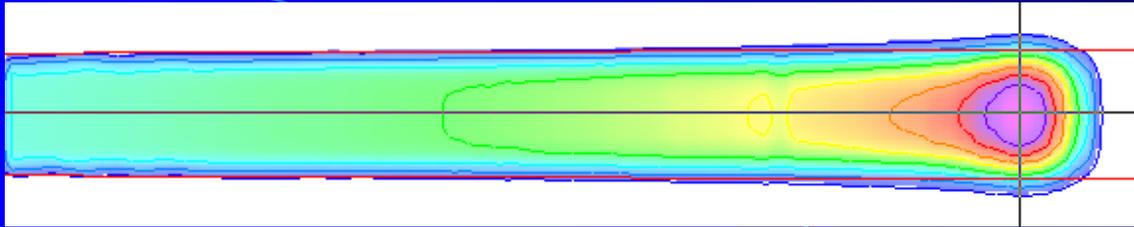
Многокабинный комплекс для проведения адронной терапии, созданный на базе фазотрона



Первая процедурная кабина для проведения трехмерной конформной протонной лучевой терапии

Сравнение глубинно-дозных распределений фотонных пучков различной энергии, протонного пучка, а также «идеального» для радиотерапии излучения

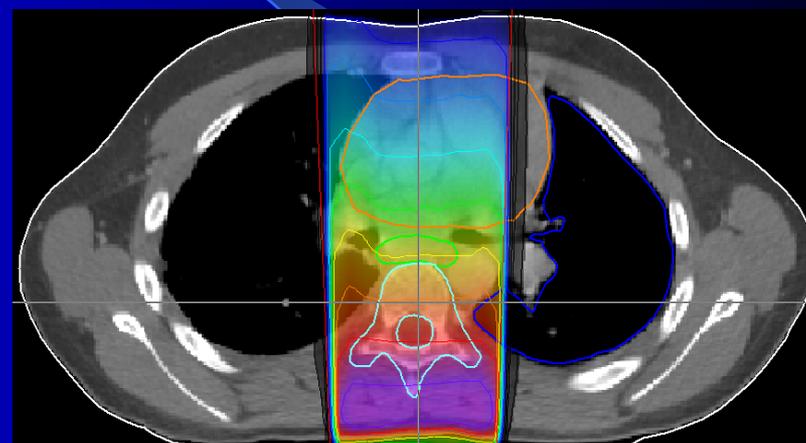
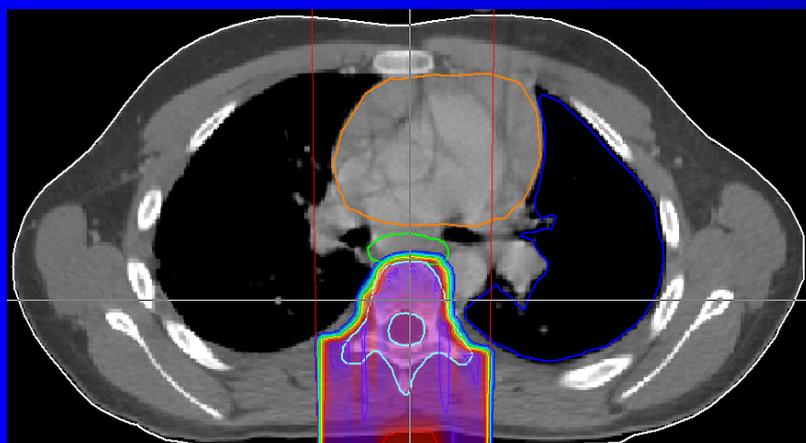




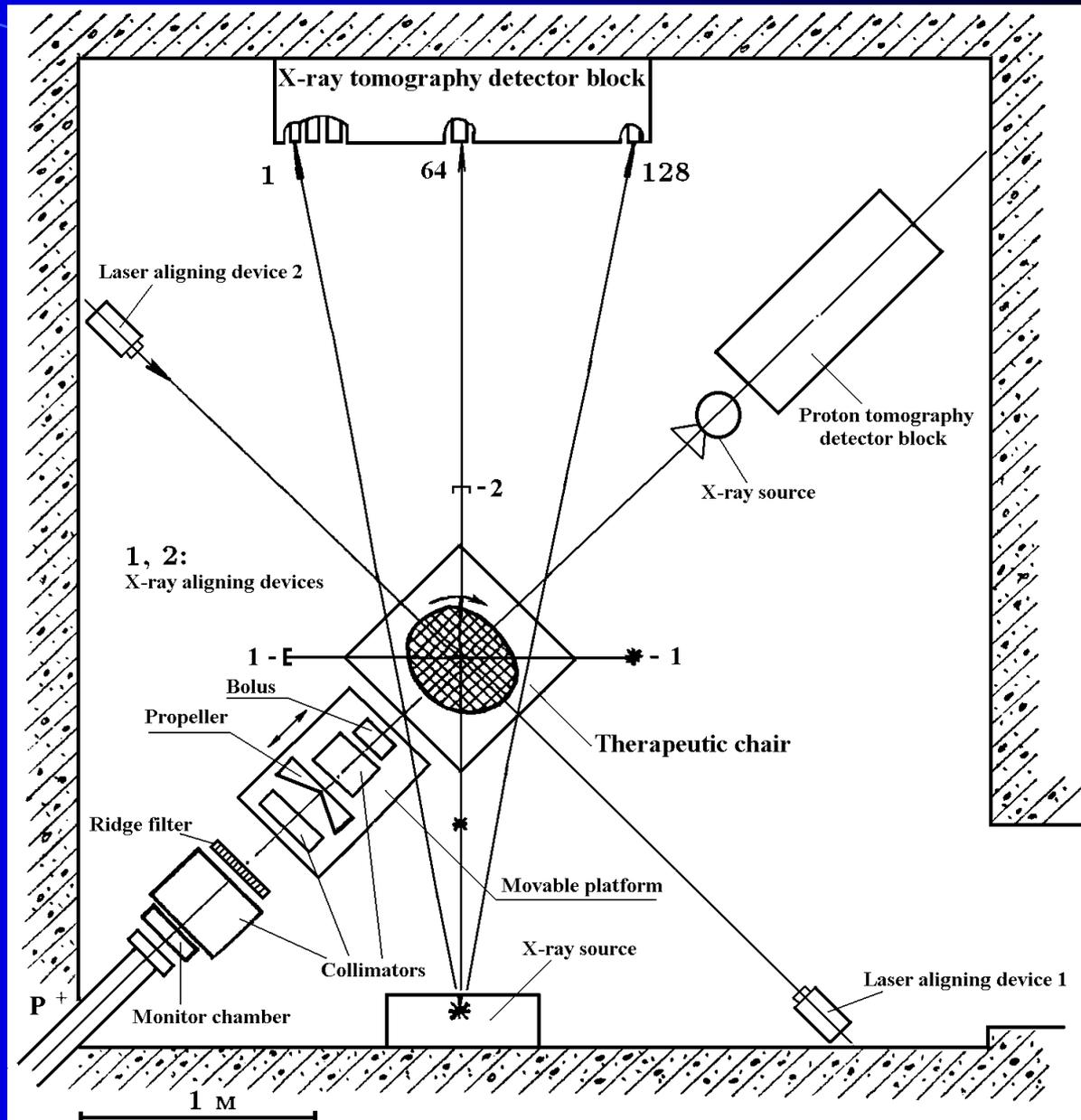
Преимущества протонной терапии

1. Фиксированный и контролируемый пробег в тканях, зависящий от энергии частиц и плотности тканей;
2. Здоровые ткани и органы, расположенные за опухолью практически не подвергаются облучению;
3. Резкие градиенты дозы как в поперечном, так и в продольном направлении;
4. Увеличение дозы в конце пробега (пик Брэгга);
5. Все вышеперечисленное позволяет сконцентрировать дозу в опухоли в 2-3 раза лучше, чем при использовании фотонного излучения.

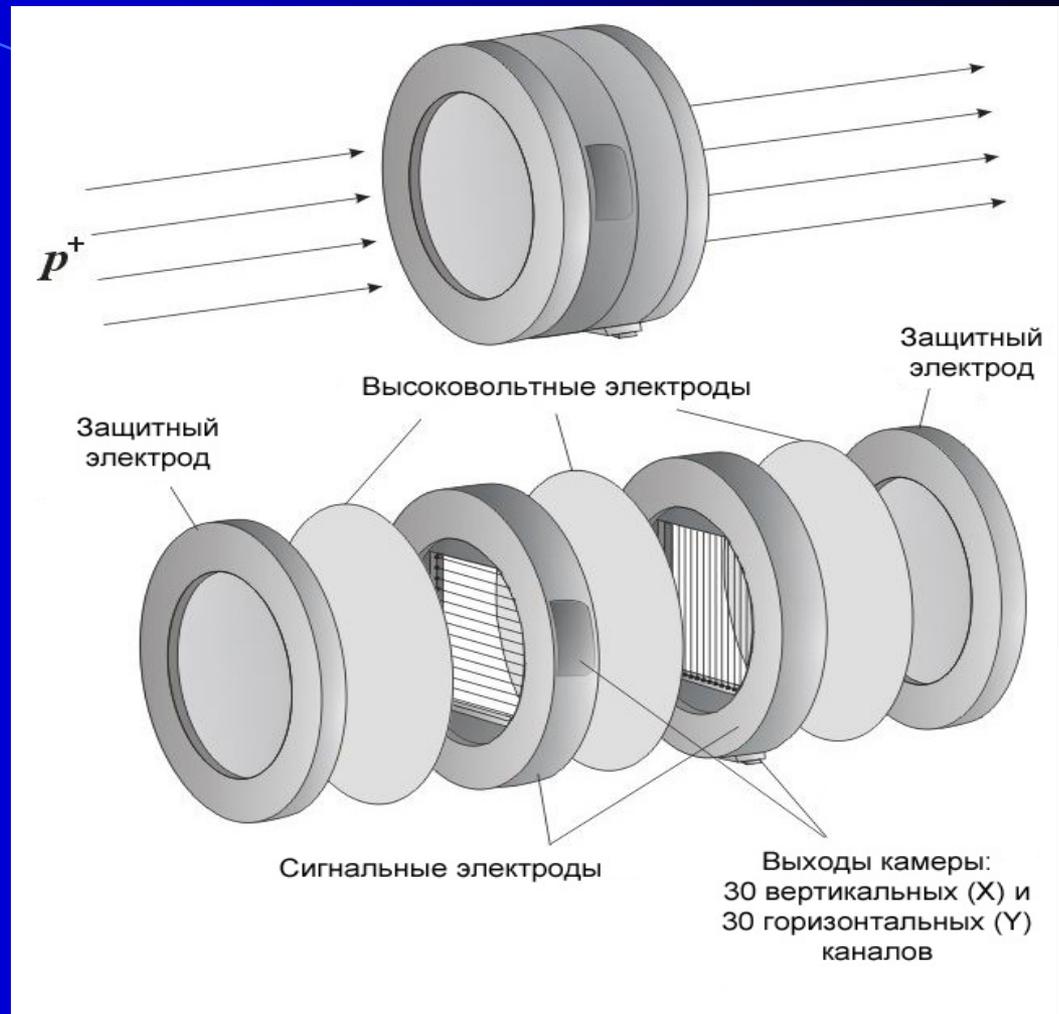
Клинический случай, демонстрирующий преимущества протонной терапии (слева) по сравнению с фотонной терапией (справа)



Расположение оборудования в первой процедурной кабине



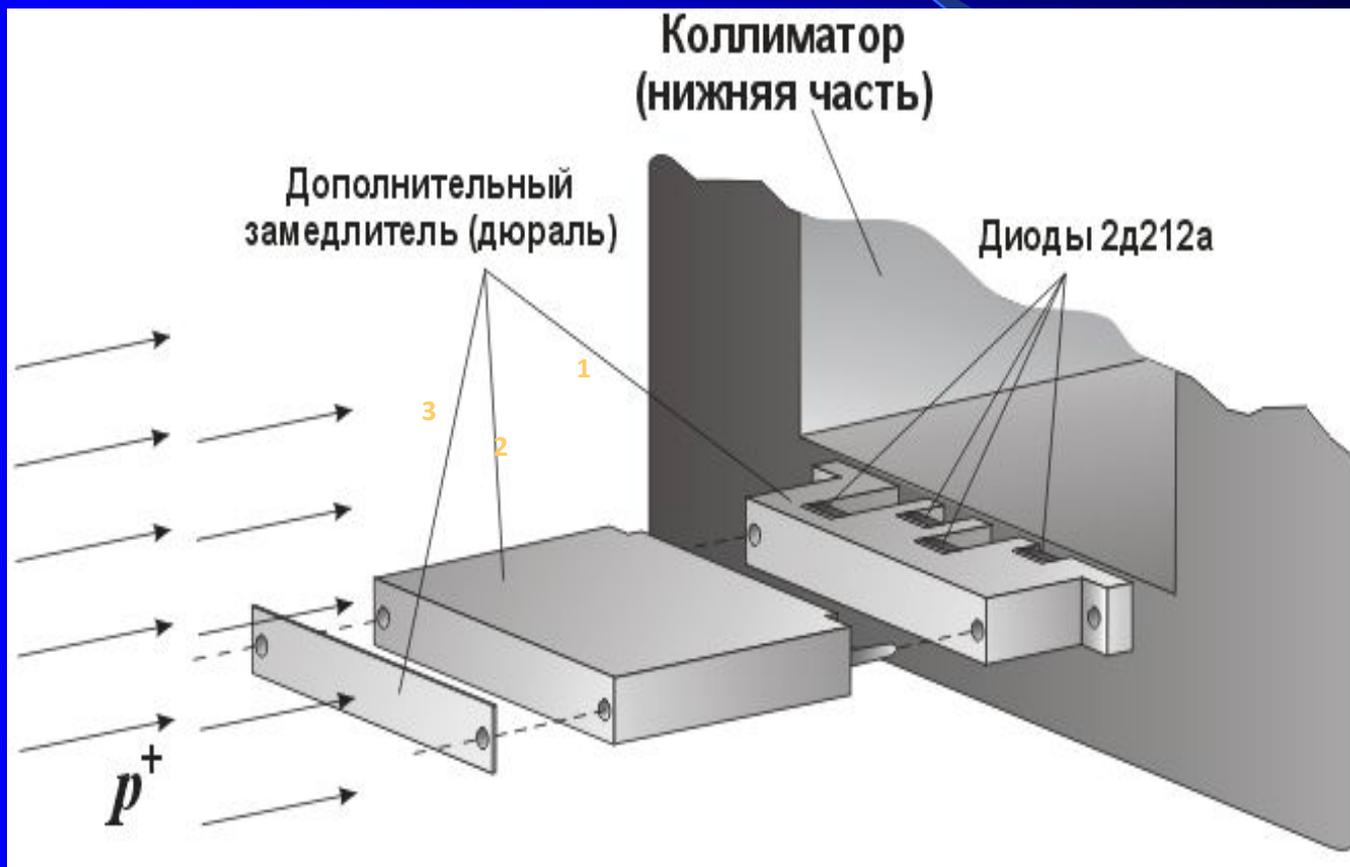
Конструкция много-
проволочной иони-
зационной камеры
для мониторинго-
вания горизонталь-
ного и вертикаль-
ного профилей
протонного пучка



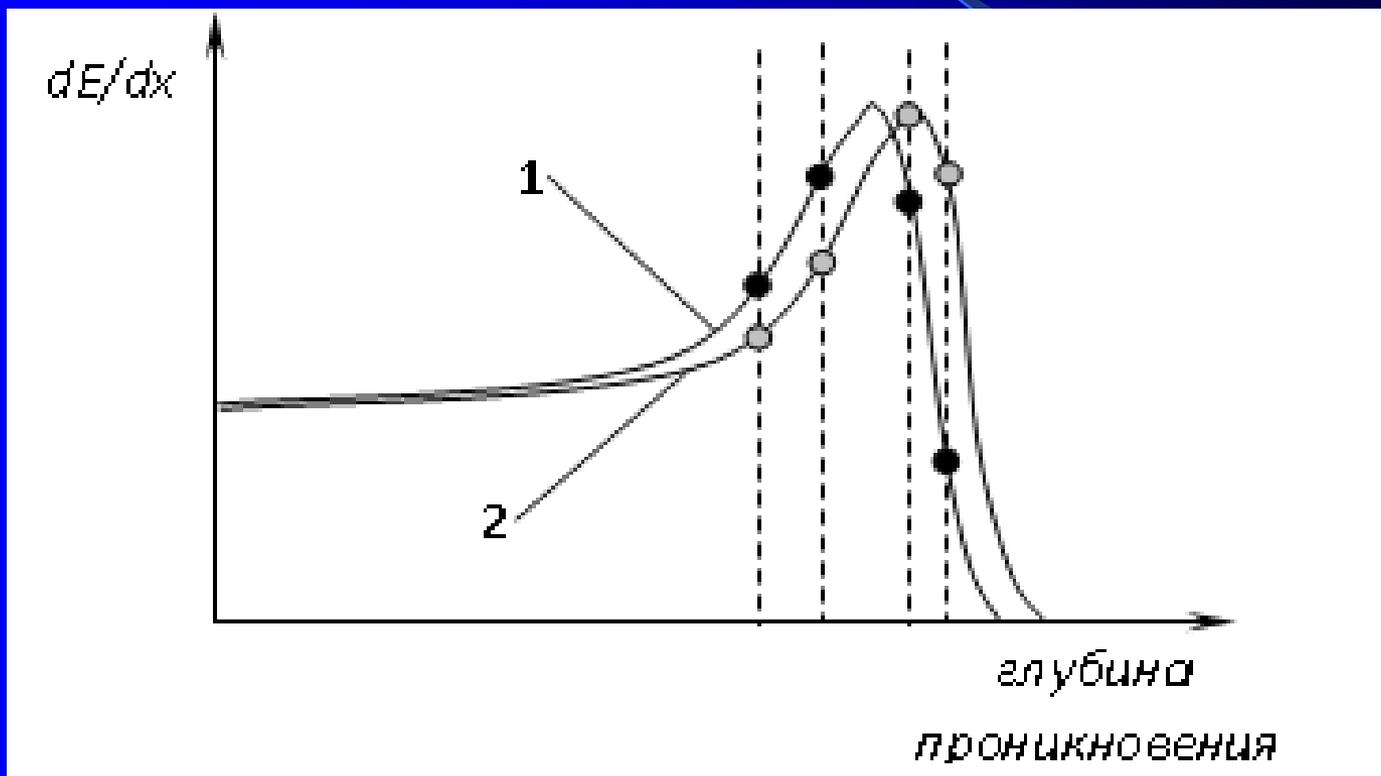
Для измерения сигналов с анодных проволочек был разработан и изготовлен модуль в стандарте КАМАК на основе микросхемы TERA . Микросхема представляет собой 64 канальный 16-битный стробируемый преобразователь входного тока в цифровой код. Каждый канал состоит из двух частей: аналоговой и цифровой. Аналоговая часть состоит из конвертера ток-частота. "Квант" заряда, соответствующий одному импульсу, составляет 600 фКл, что позволяет измерять входные токи в диапазоне от 0.1 нА до 1 мкА с точностью не хуже 1 %.



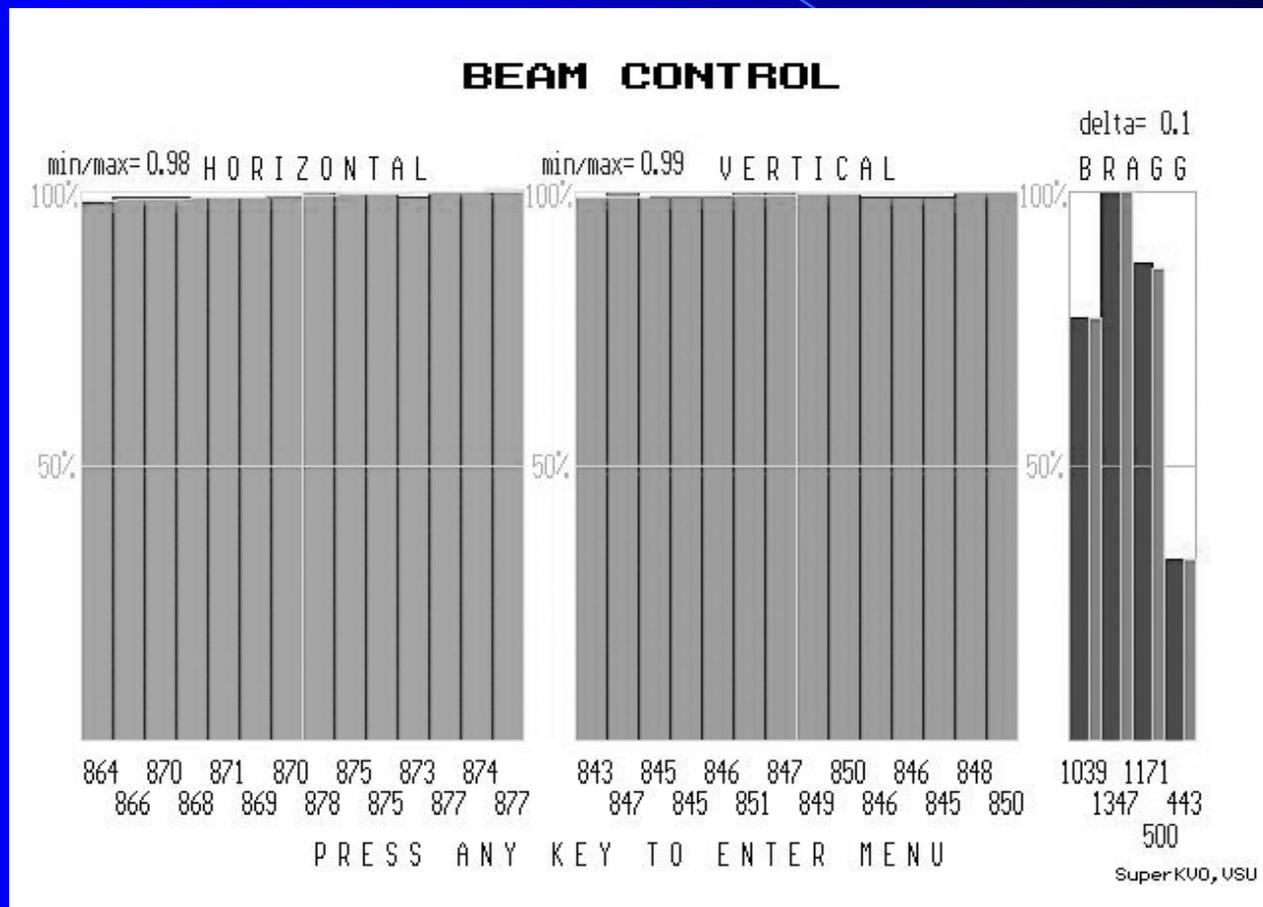
Система контроля пробега протонного пучка, состоящая из 4-х радиотехнических диодов, используемых в качестве измерителя ионизационных потерь протонов



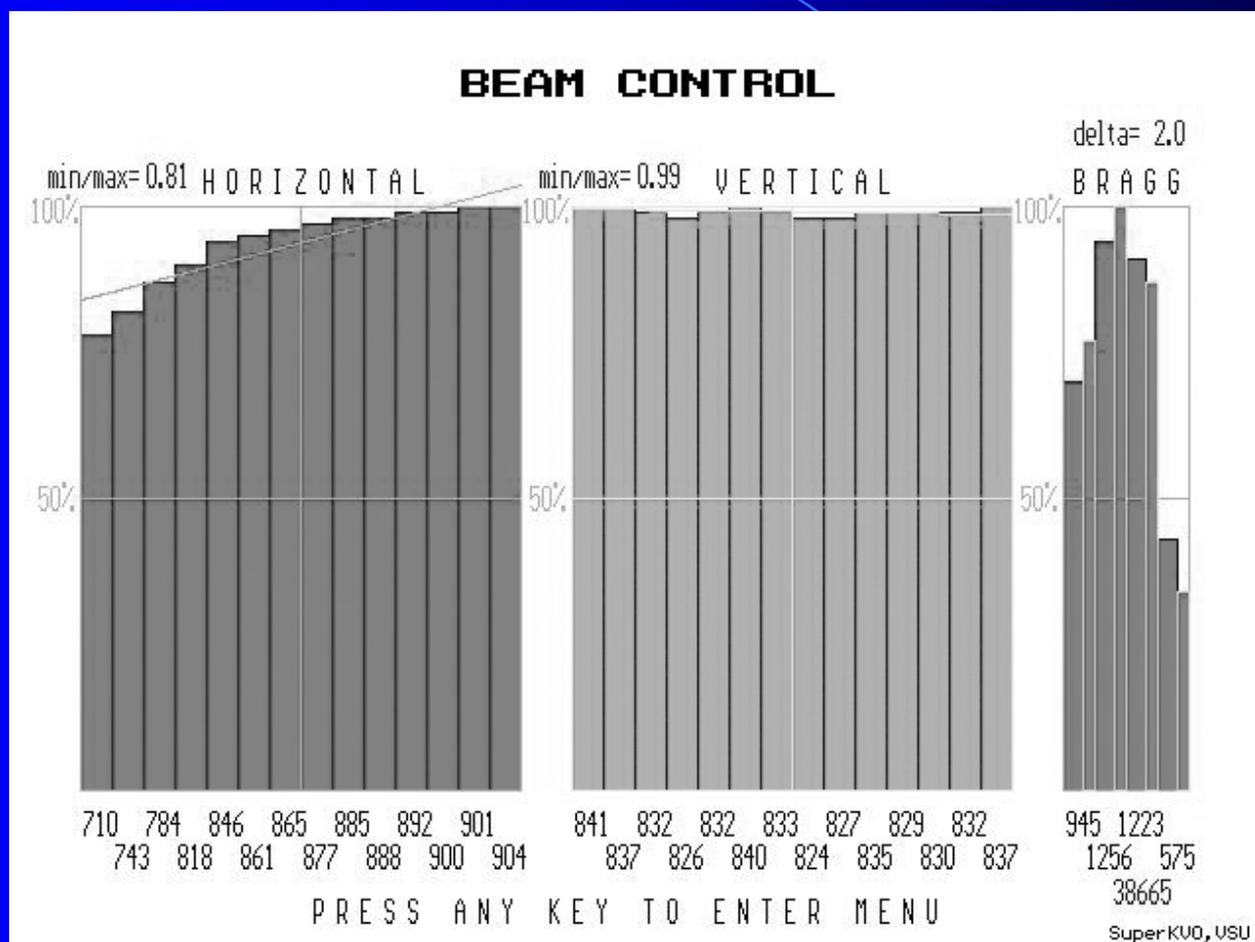
Сигналы с диодов при правильном пробеге пучка (кривая 1) и при смещенном в сторону увеличения пробега (кривая 2)



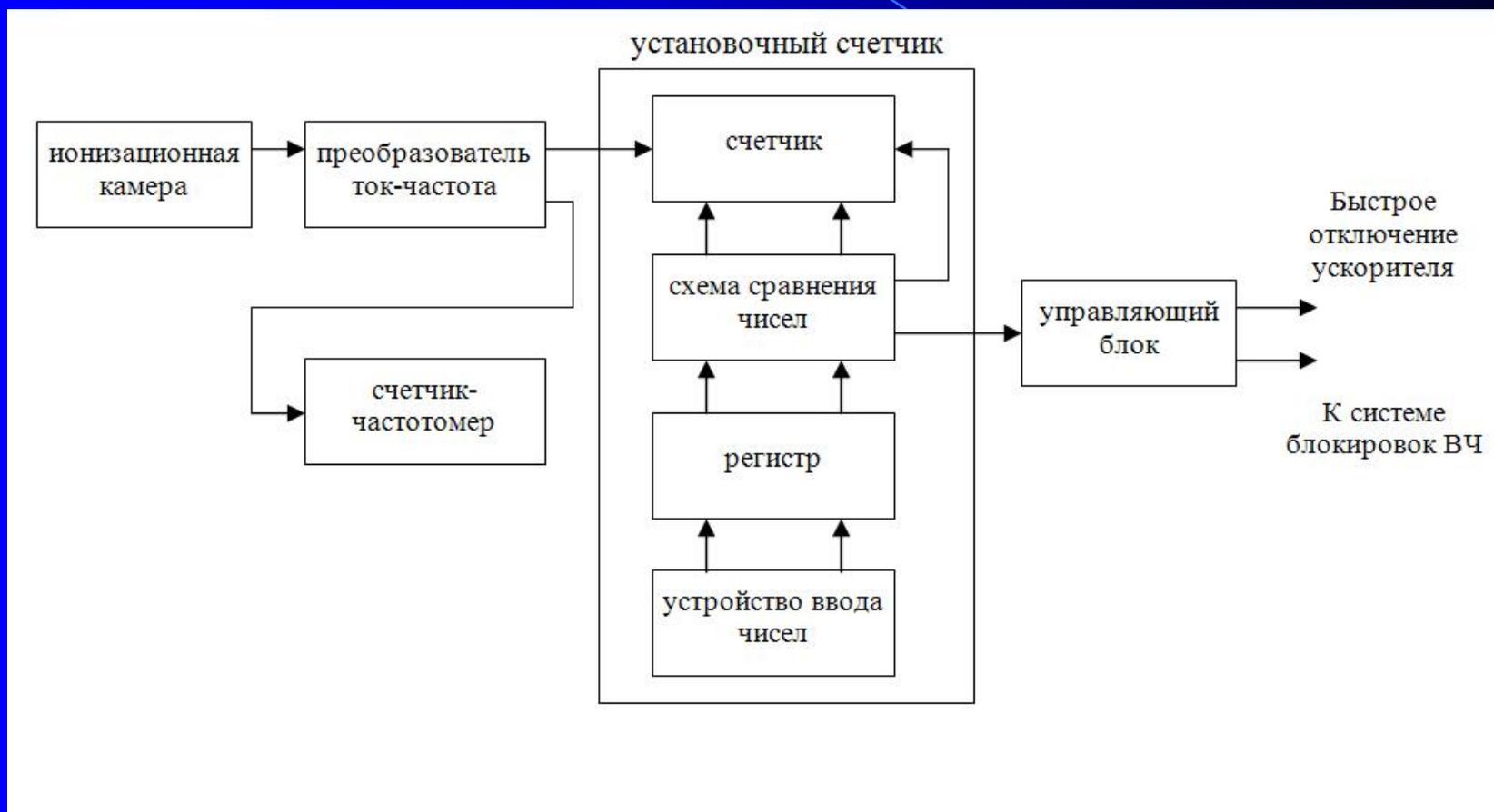
Окно экрана монитора в случае протонного пучка с «идеальными параметрами»



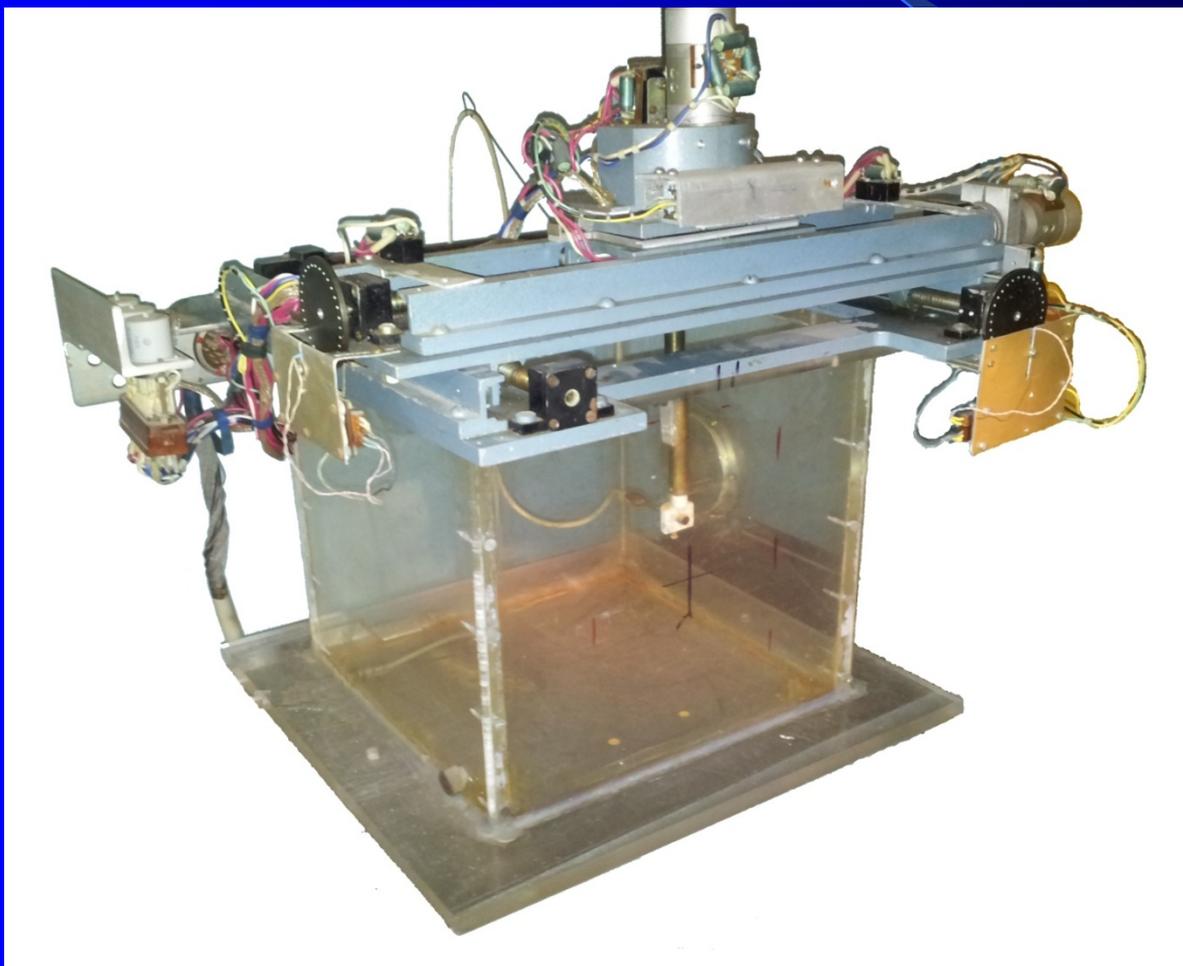
В данном случае горизонтальный профиль пучка не симметричен, и его пробег превышает эталонное значение на 2 мм для воды



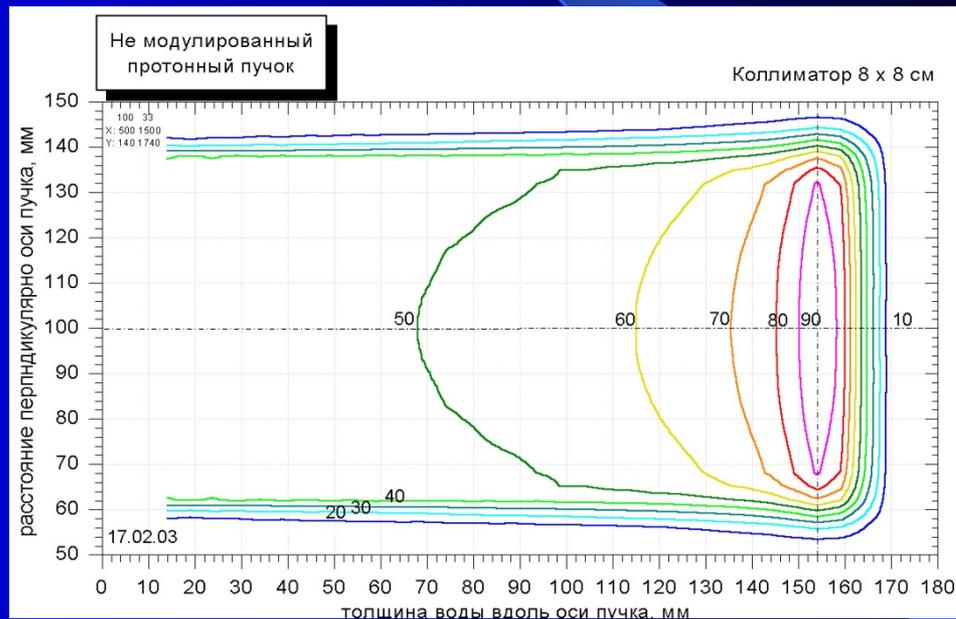
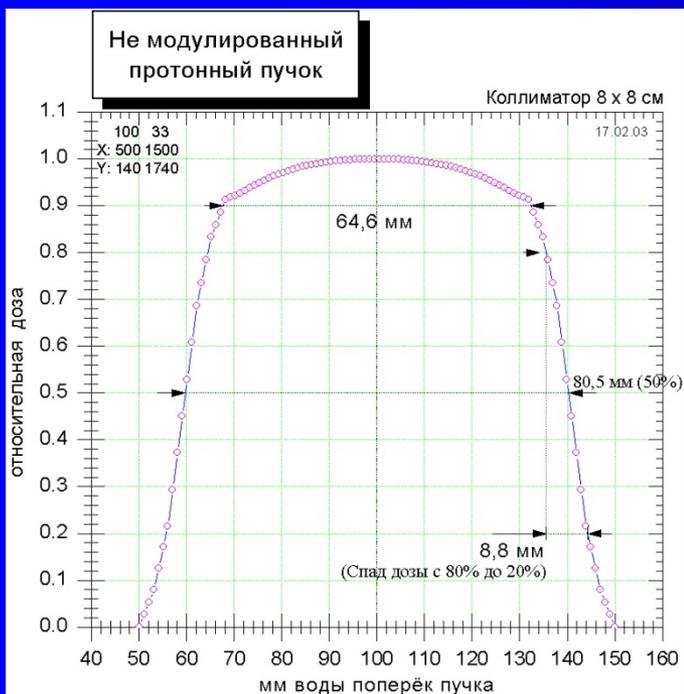
Блок-схема системы автоматического отпуска дозы пациенту при протонной лучевой терапии



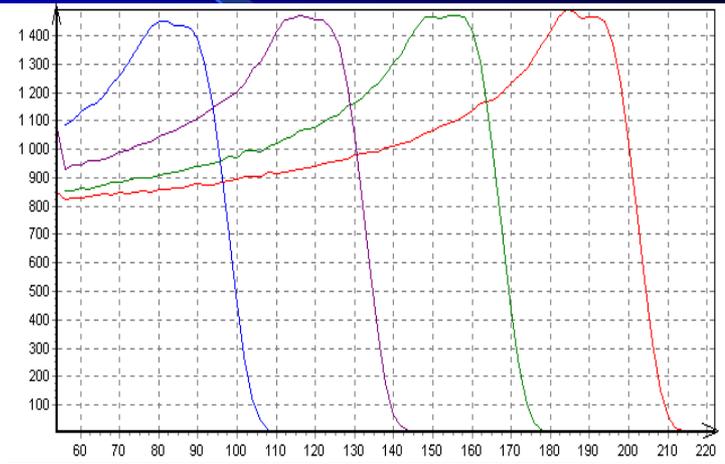
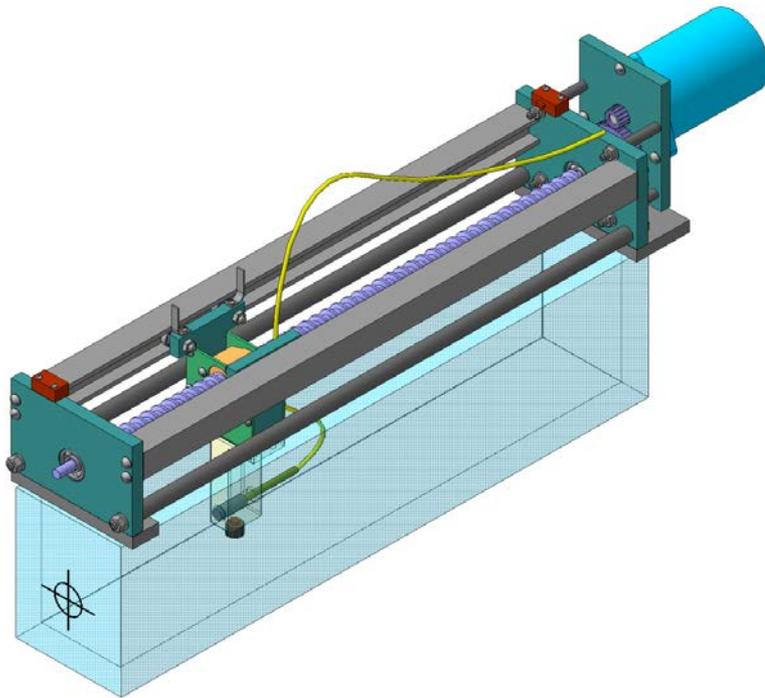
Разработанный в ЛЯП ОИЯИ анализатор пучка (изодозограф), предназначенный для измерения пространственных дозных распределений протонного пучка с помощью миниатюрного полупроводникового детектора в водном фантоме

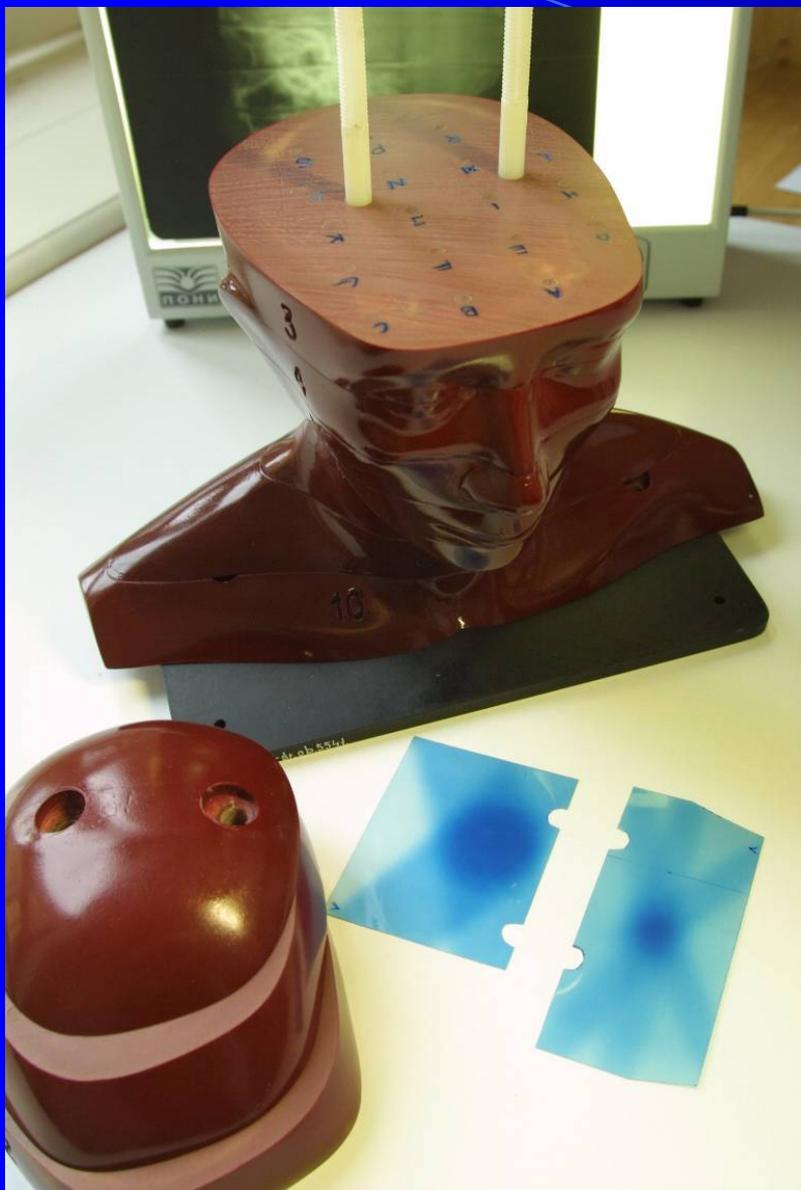


Измеренные с помощью изодозографа горизонтальное поперечное распределение дозы протонного пучка в области пика Брэгга (слева) и двумерное продольное распределение дозы в горизонтальной плоскости (справа)



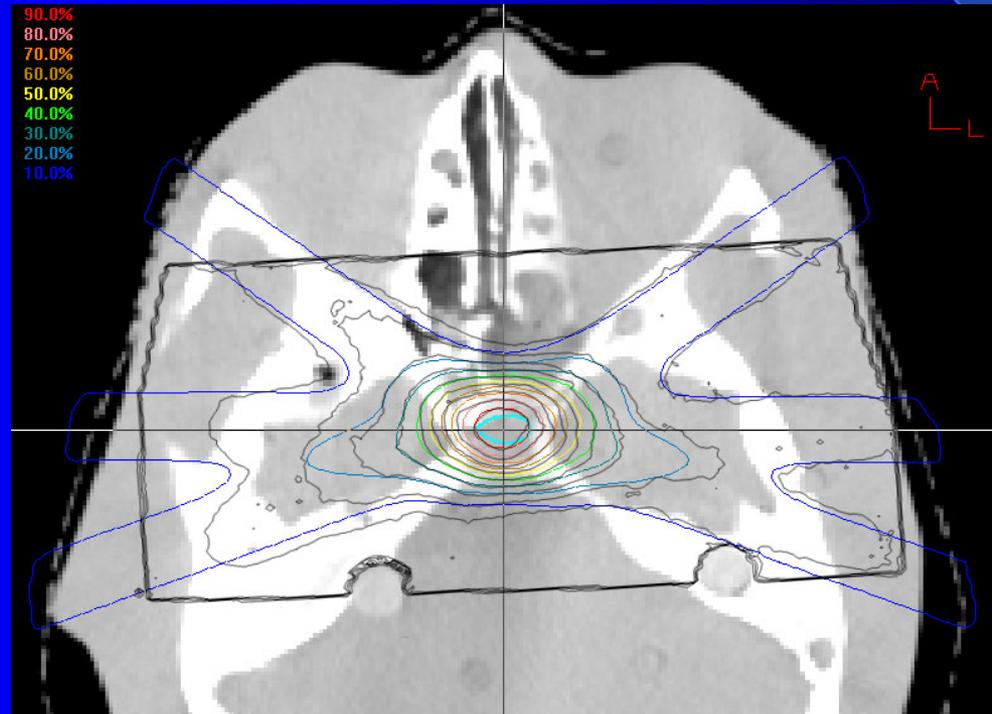
Вариант упрощенного анализатора пучка, предназначенного только для измерения глубинно-дозного распределения протонного пучка



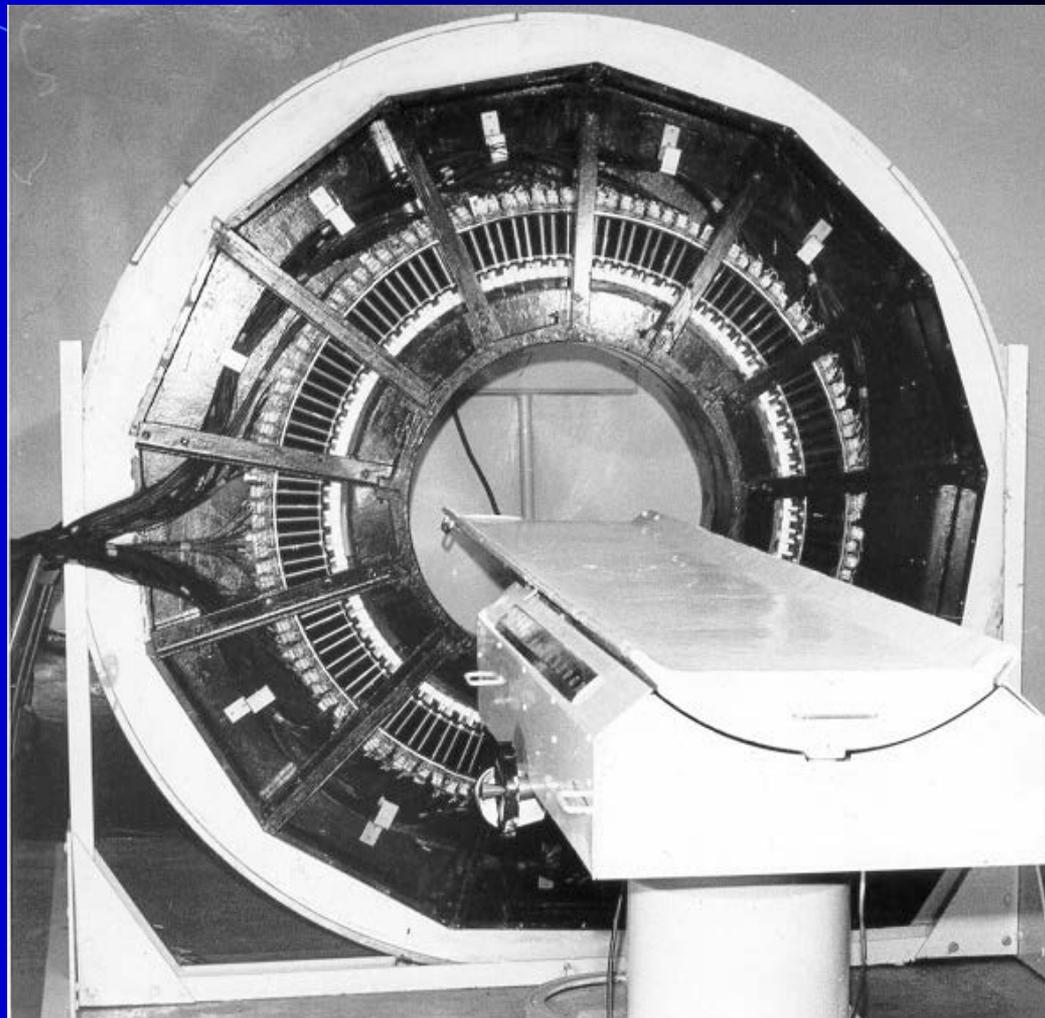


Измерения с использованием радиохромных пленок и гетерогенного фантома Алдерсона позволяют протестировать весь процесс подготовки и проведения облучения пациентов по методике трехмерной конформной протонной лучевой терапии

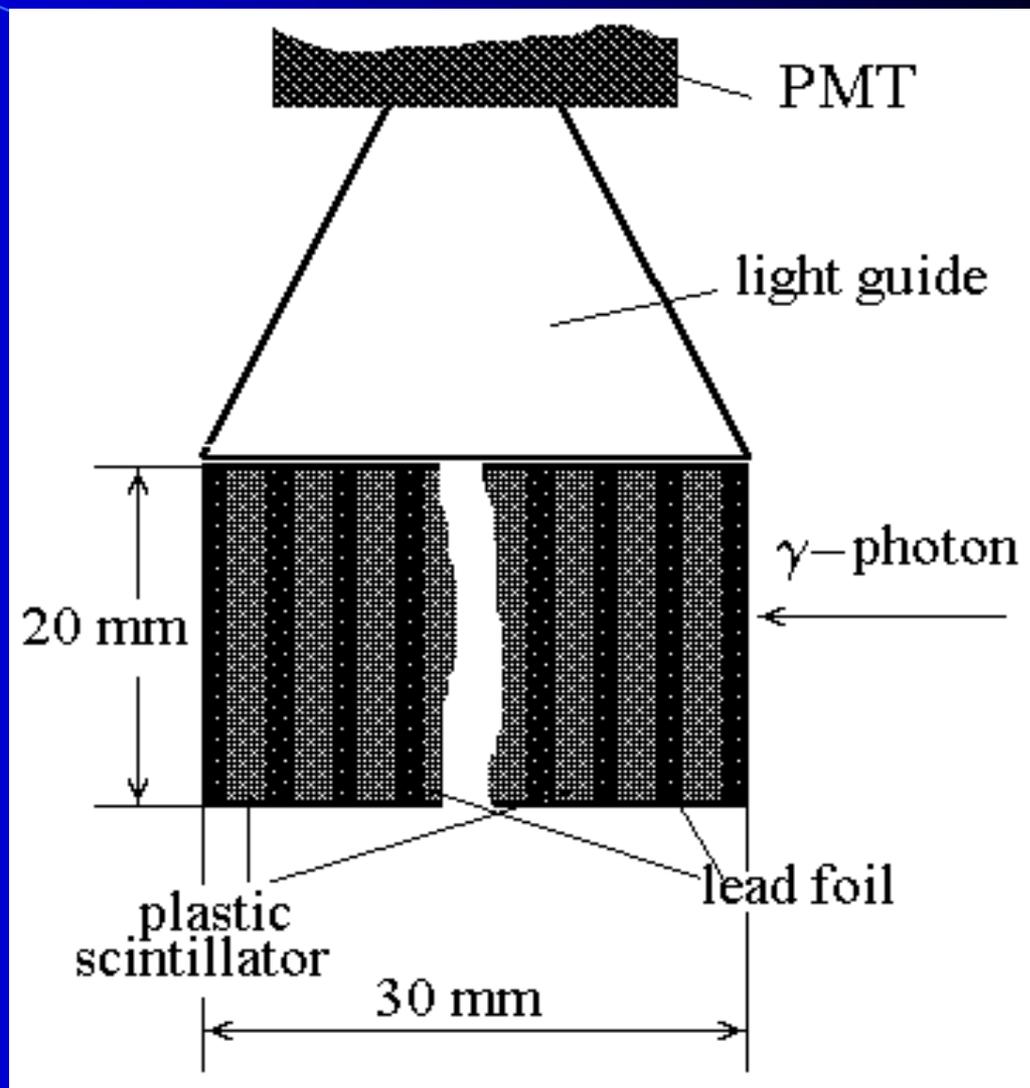
Пример верификации облучения фантома Алдерсона с радиохромной пленкой с шести направлений облучения. Соответствие измеренных и рассчитанных программой планирования дозных распределений в области высоких изодоз (50-100 %) находится в пределах нескольких мм.



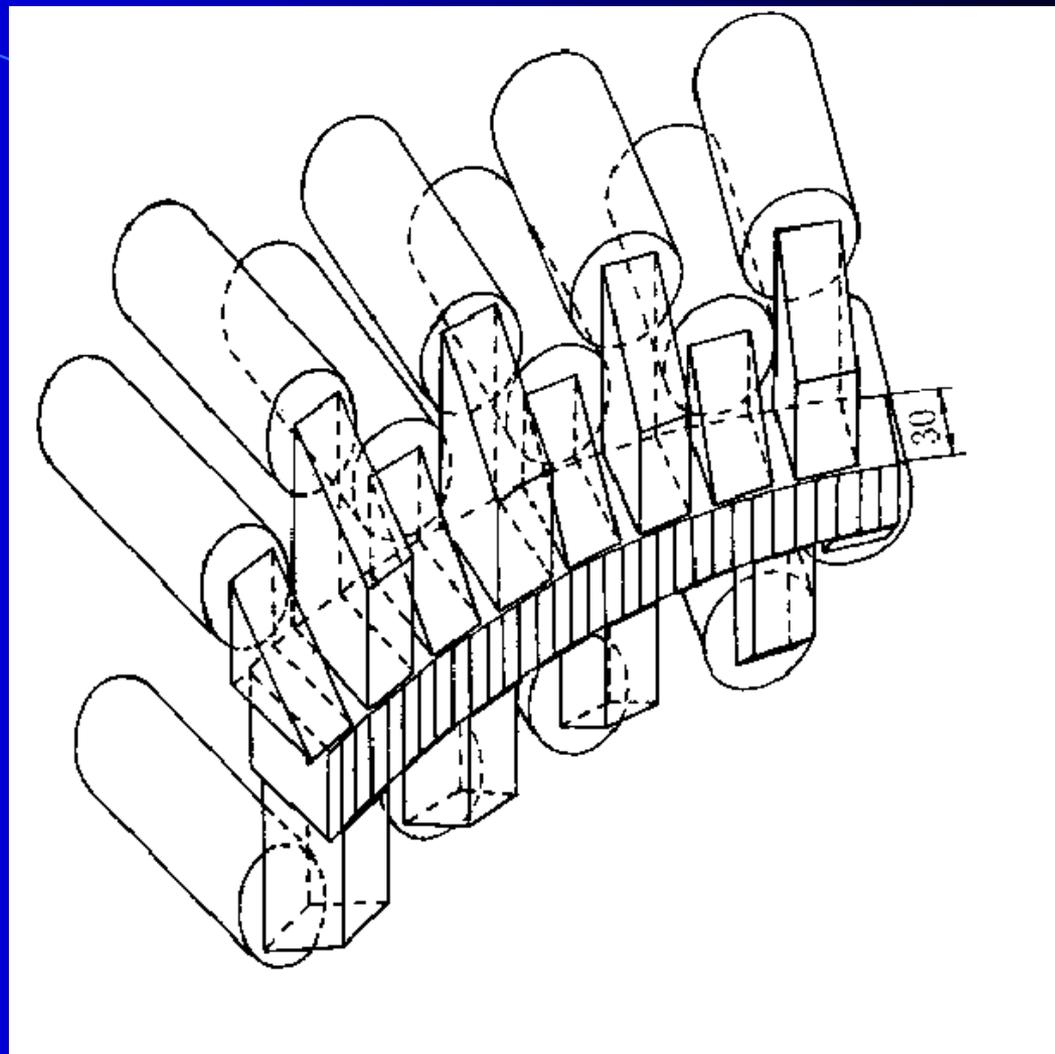
Был разработан и изготовлен однокольцевой позитронный эмиссионный томограф (ПЭТ) с целью изучения возможности проведения контроля пространственных дозных распределений путем измерения концентрации наведенной протонным пучком радиоактивности



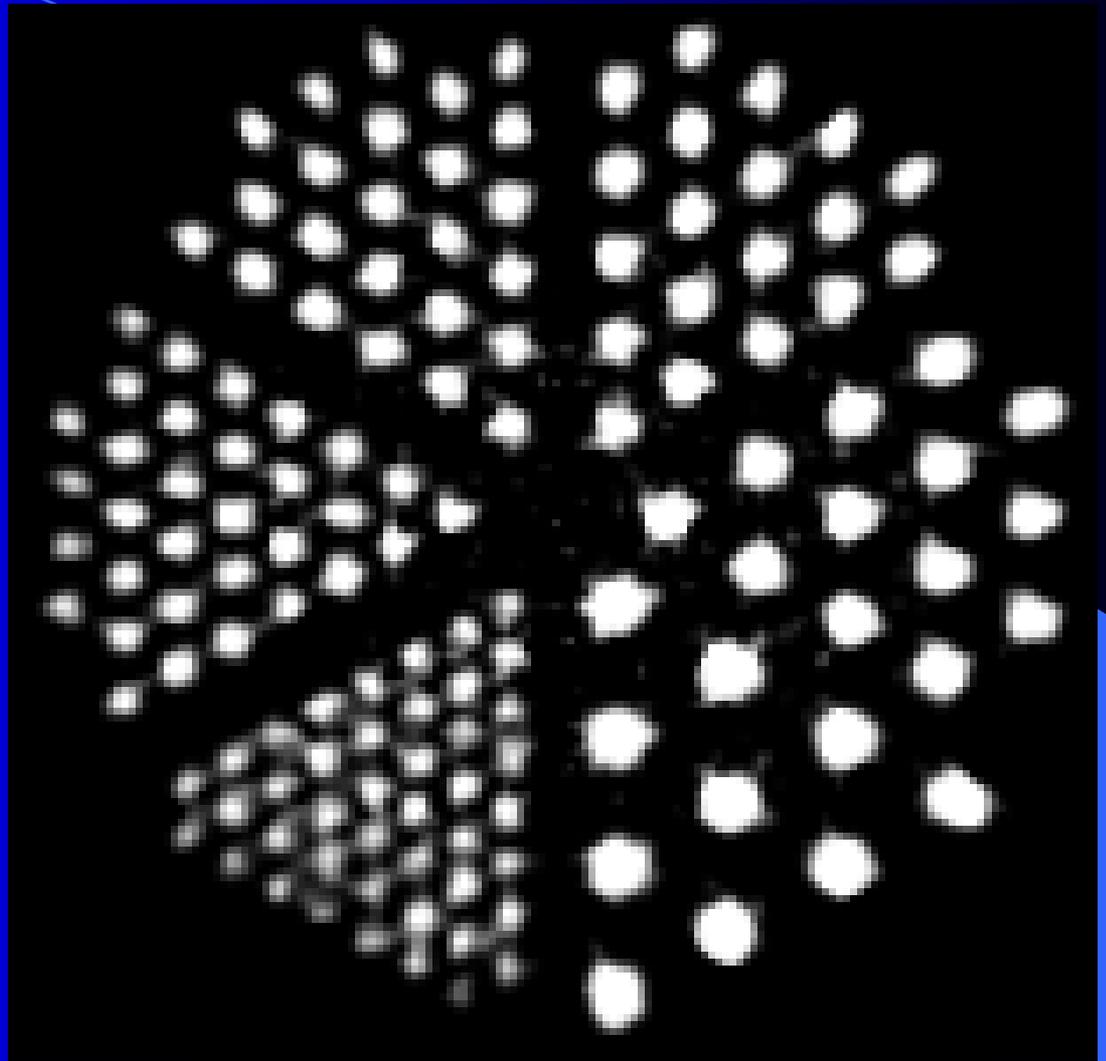
Для данного устройства были специально разработаны «композиционные» сцинтилляторы, каждый из которых состоит из 160 чередующихся слоев пластичекого сцинтиллятора и свинцовой фольги толщиной 150 мкм и 33 мкм соответственно



Схематическое изображение модуля на основе композиционных сцинтилляторов. Каждый модуль содержит 32 сцинтиллятора и 16 ФЕУ, что стало возможным благодаря примененной световой кодировке. Томограф состоит из 16 таких модулей.



Измеренное с помощью томографа и реконструированное изображение фантома «Дерензо», представляющего цилиндр из оргстекла диаметром 20 см с 6-ю областями отверстий диаметрами от 2,5 до 6,2 мм, заполненных радиоизотопом ^{22}Na .



Измеренное и реконструированное распределение наведенной активности, образовавшейся при ротационном облучении протонным пучком 660 МэВ цилиндра из оргстекла. Распределение представлено в форме изоуровней с шагом 10 %.

