

«Исследования по лучевой терапии»

С.В.Акулиничев

Основные направления исследований:

1. Протонная лучевая терапия.
2. Конвенциональная (фотонная)
лучевая терапия.
3. Новые источники для брахитерапии.



Лаборатория медицинской физики

Источники с иттербием для брахитерапии

Высокодозная брахитерапия (ВДБ):

Количество источников: 1,

Время облучения: до 1 час.

Активность источника: ~ 8-20 Ки,

Изотопы (обычно) : Ir-192, Co-60



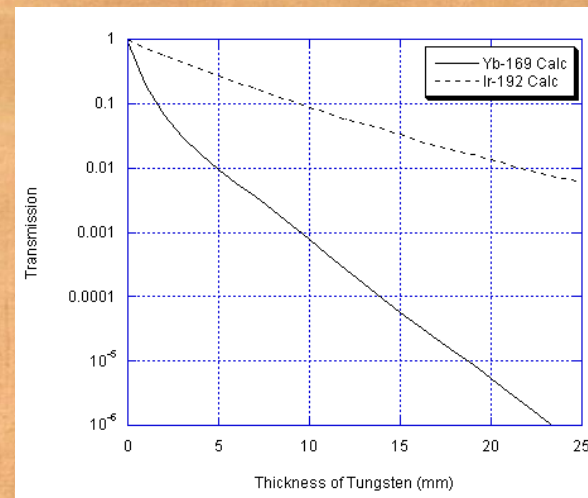
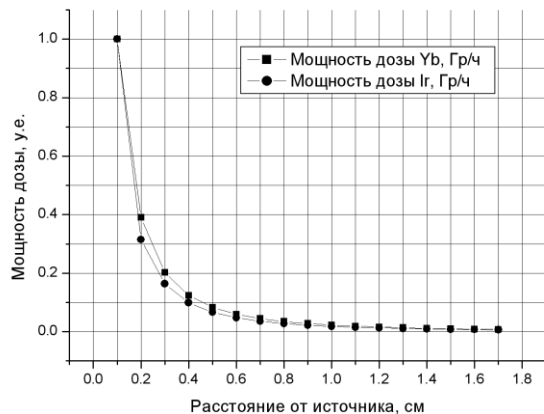
ВДБ признана наиболее

эффективным лечением РПЖ!



Зачем Yb-169 для брахитерапии?

1. Мягкий спектр (**92 КэВ**) по сравнению с **Co-60 (1 МэВ)** и **Ir-192 (300 КэВ)**, и сильное поглощение в тяжелых материалах, поэтому:
 - а)Ниже стоимость биологической защиты,
 - б)Меньше повреждение здоровых тканей,
2. Относительно низкая стоимость: себестоимость источника Yb~100 т.руб. (стоимость источника Ir около 1 млн. руб.)

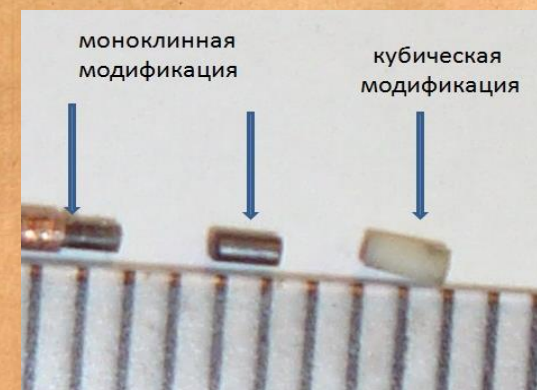
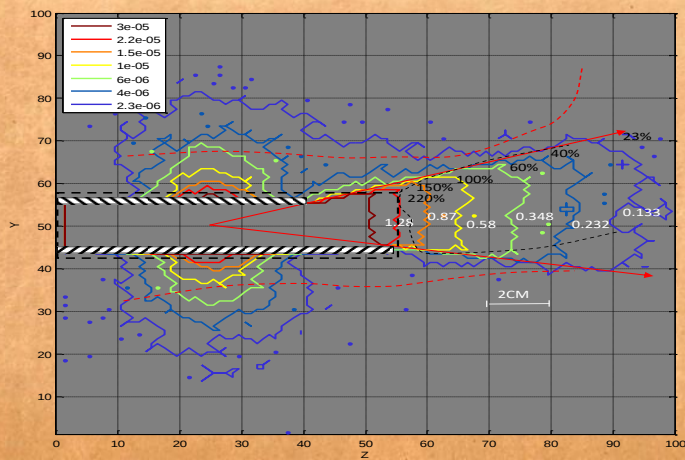
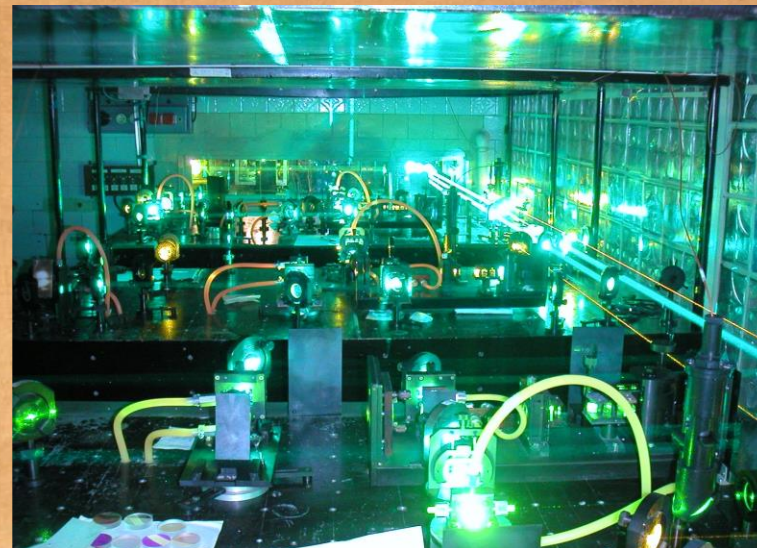


Распространение излучения в тканях

Эффективность биологической защиты

Полученные результаты по источникам с иттербием.

- Имеется уникальная установка лазерного выделения Yb-168 (3г/год).
- Осуществлен полный цикл лазерного изготовления источников.
- Проведено тестовое облучение нейтронами источников.
- Разработана (совместно с ИФВД) технология получения сверхплотного иттербиевого керамического сердечника и получены рекордные плотности (до 10 г/мл).
- Предложены конструкции аппликаторов для внутриволостного облучения.



Конвенциональная лучевая терапия

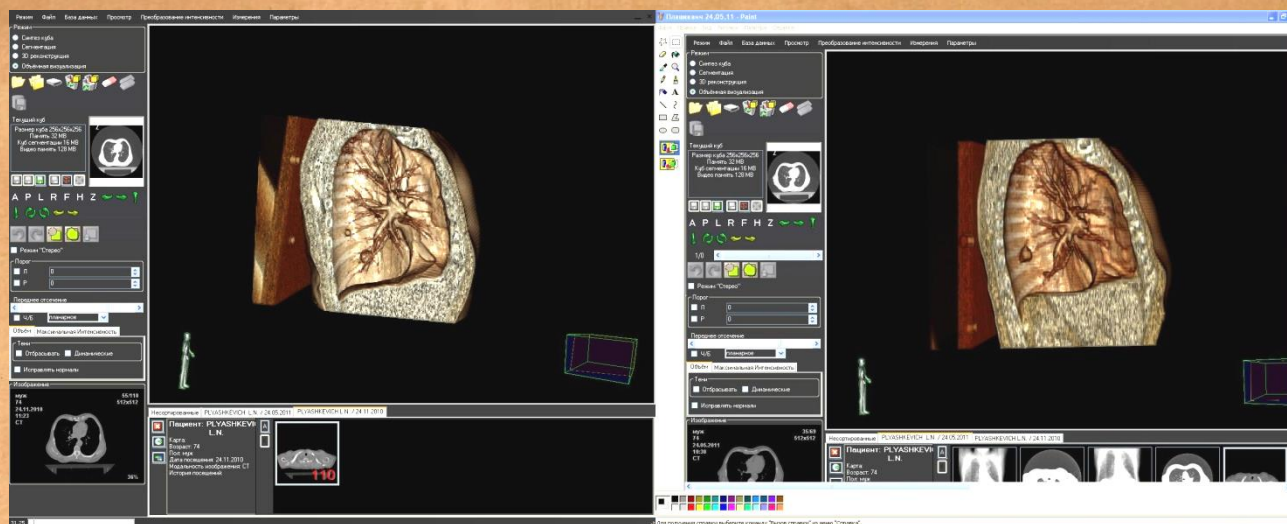
(на ускорителе электронов СЛ-75-5-МТ и аппарате РТА)



Результаты:

- Лучевые установки были усовершенствованы в ИЯИ
 - Получили лучевое лечение около 300 человек.

Примеры проведенного лучевого лечения совместно с онкологическим отделением Больницы РАН в Троицке



ПРОТОННАЯ ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ

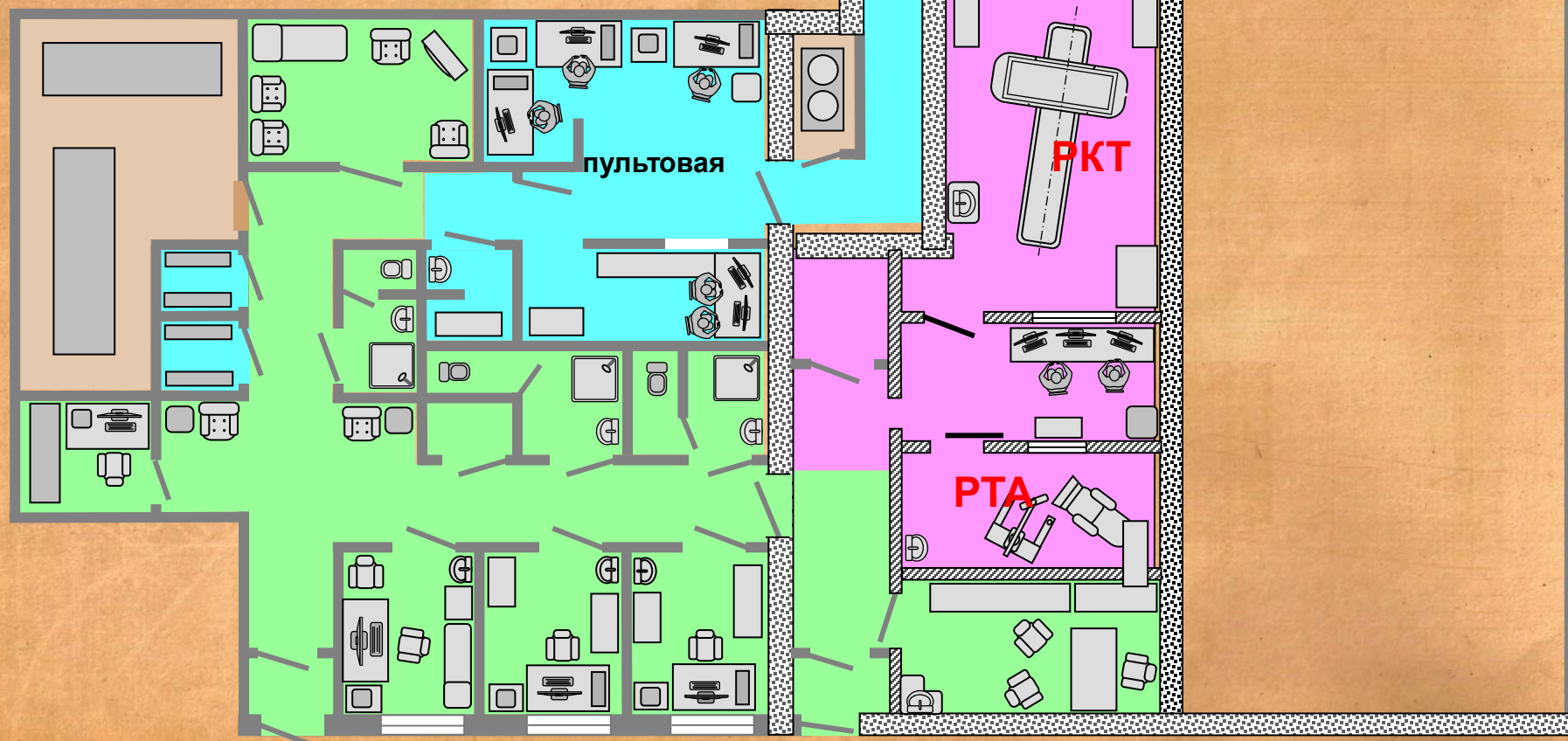
Основные характеристики протонной лучевой установки.

- Пучок протонов: фиксированный горизонтальный,
- Формирование дозы: пассивное рассеяние,
- Положение пациента: сидя или лежа,
- Центрация пациента: лазерами и рентгеновскими центраторами,
- Размер мишени: до 90 мм,
- Энергия протонов: 70-220 МэВ,
- Частота макроимпульсов: до 100 Гц,
- Длительность макроимпульсов: до 200 Мкс,
- Эммитанс пучка $\sim 3 \text{ мм} \cdot \text{мрад}$.

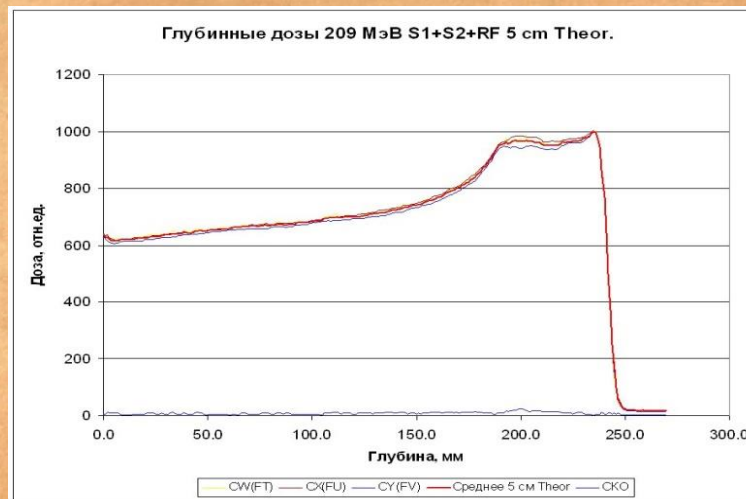
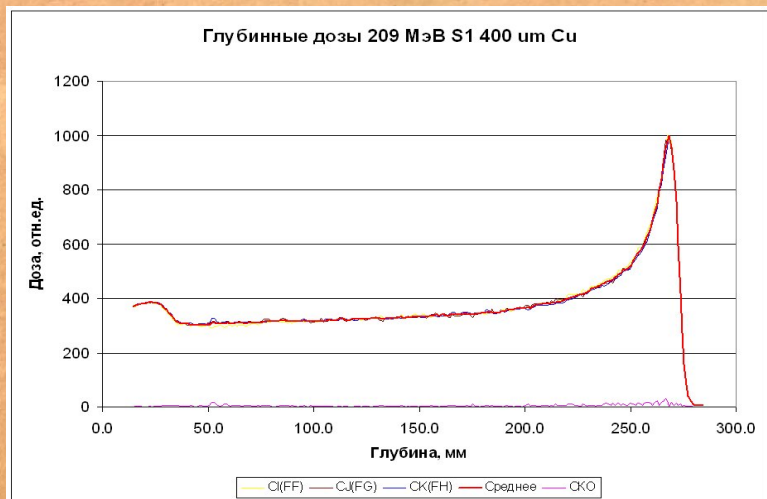
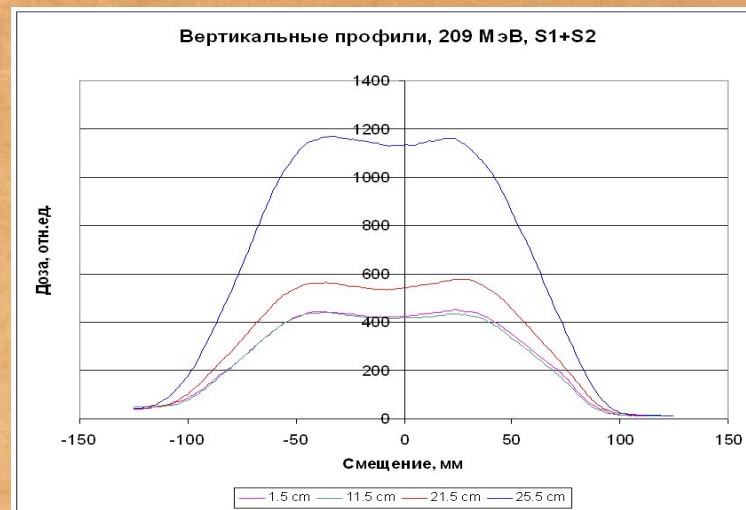
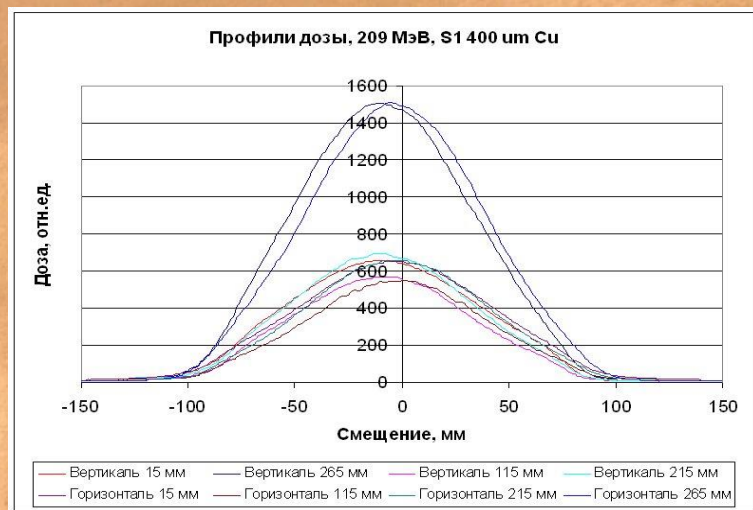


План размещения КЛТ ИЯИ РАН

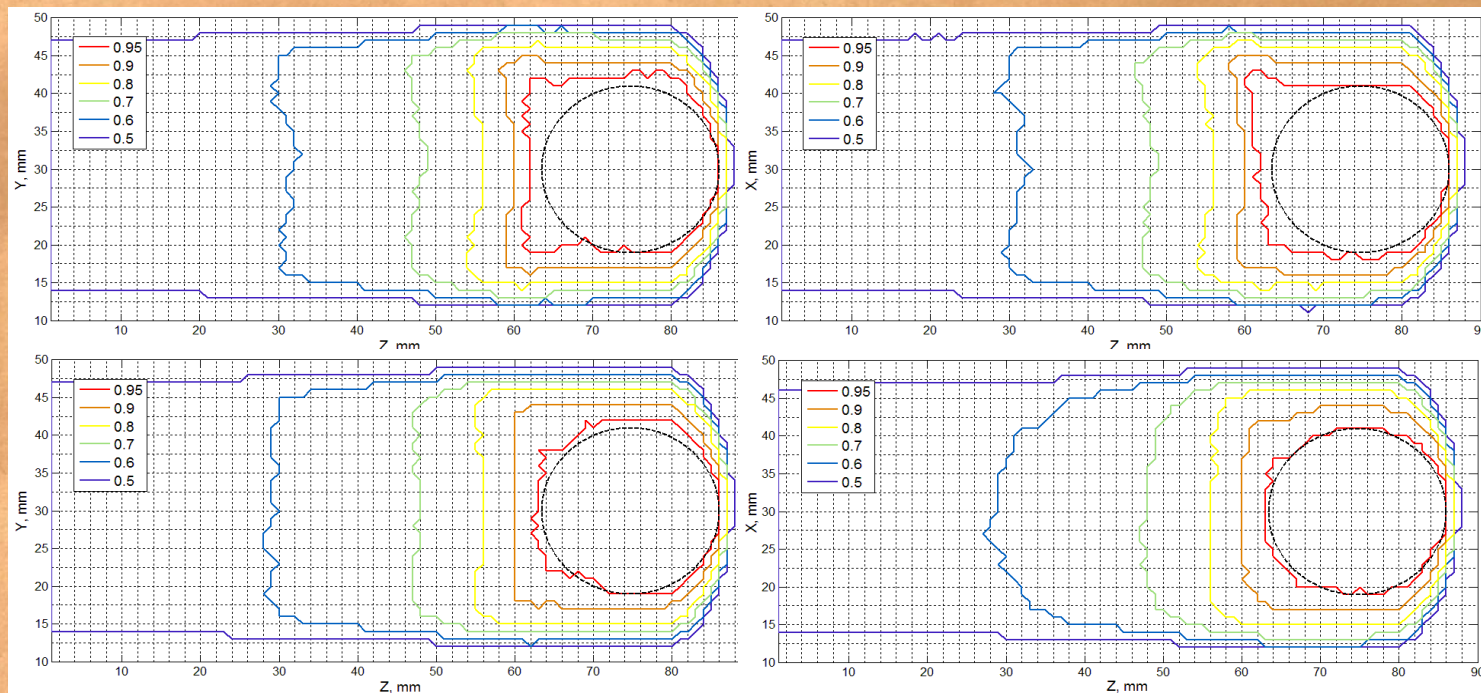
- Амбулатория
- Рентгеновская лаборатория
- Лучевая терапия
- Инженерное обеспечение



Результаты формирования медицинских пучков протонов



Разработка технологии конформной протонной терапии



На верхних графиках: обычное распределение дозы для протонов 160 МэВ в воде в двух плоскостях (красным показана максимальная доза). Облучаемый очаг изображен черным кругом.

На нижних графиках – то же с использованием новой конструкции гребенчатых фильтров.

Результат: Использование формирующих устройств новой конструкции позволило устранить облучение здоровых тканей вне очага.

Новые перспективы протонной терапии

1. Флэш-терапия:

- мощность дозы
 $dD/dt \geq 40 \text{ Гр/с}$ ($t < 0.5 \text{ с}$)
- разрушает опухолевые клетки в **1.75** раза сильнее, чем нормальные (SF~ 1.75).
- Возможность вылечить человека за $\frac{1}{2}$ секунды.

2. Компактные линейные ускорители протонов

(типа LIGHT из ЦЕРНа) :

- Переключение энергии 5мс,
- Эмиттанс 2 мм·мрад,
- Малое паразитное излучение.
- Дешевая эксплуатация.

Современное состояние Флэш-терапии

- Эксперименты с клетками *in vitro*: $SF = 1.5 - 1.8$

- Эксперименты с животными: Конвенц.



Флэш

- Первые результаты с пациентами
(т-клеточная лимфома кожи)



Выводы:

- 1) Флэш-эффект есть, но
- 2) желательно $dD/dt \geq 100$ Гр/с, $D \geq 10$ Гр,
- 3) важно сочетать флэш с конформностью облучения.

Особенности Флэш-терапии на ускорителе ИЯИ РАН

Ускоритель протонов	Средняя мощность дозы, Гр/с	масса мишени, г
<u>VARIAN</u> (Pro Beam), циклотрон	70	< 100
<u>IBA</u> (Proteus 1) циклотрон	100	< 100
<u>ИЯИ РАН</u> , линейный	300 000 $N_p \sim 10^{13}$	~1000



Линак ИЯИ РАН



Циклотрон IBA Proteus 1



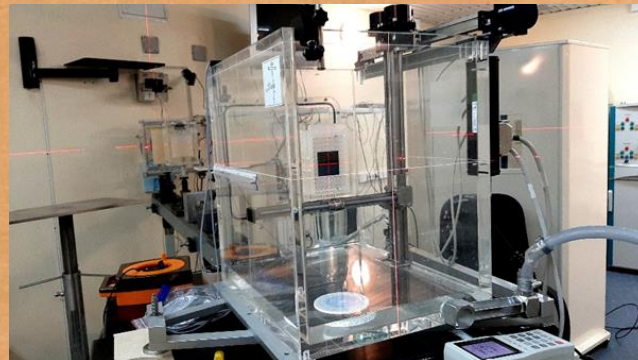
Циклотрон VARIAN
(ProBeam)

Работы ИЯИ РАН по новым направлениям протонной терапии.

1. Эксперименты по флэш-режиму.

В режиме $f = 1$ Гц, $I = 10$ мА,
1 импульс ускорителя за 100 мкс
дал дозу более **50 Гр** на 1 кг мишени:

Рекордная средняя мощность дозы
протонов!



2. Радиобиологические эксперименты исследование воздействия излучения на клетки:

Обнаружено усиление флэш-эффекта!



Установка ИЯИ РАН для флэш-терапии *in vitro*

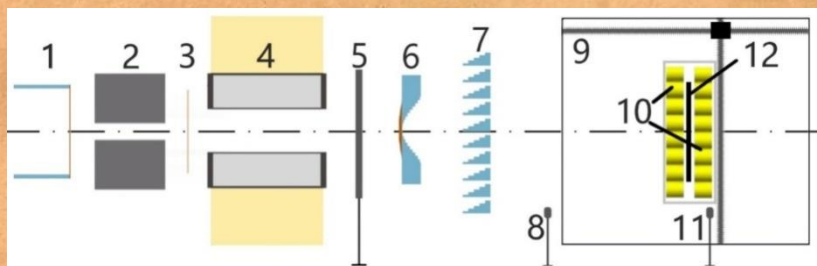
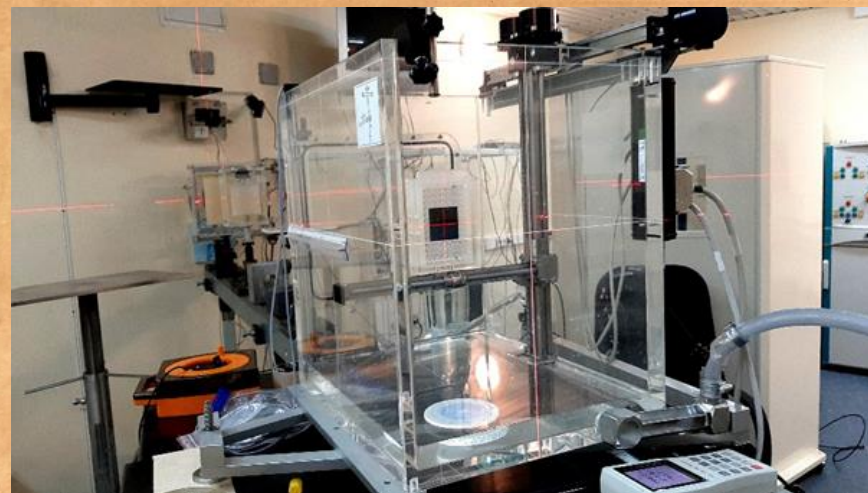


Схема лучевой установки протонной флэш-терапии :

1-вакуумный канал, 2- коллиматор, 3 – первый рассеиватель, 4- бетонная защита, 5-проходная и.к., 6-второй рассеиватель, 7- гребенчатый фильтр, 8-полевая и.к., 9-водный фантом, 10- планшеты с клетками, 11- плевая и.к., 12- пленка ЕВТ.

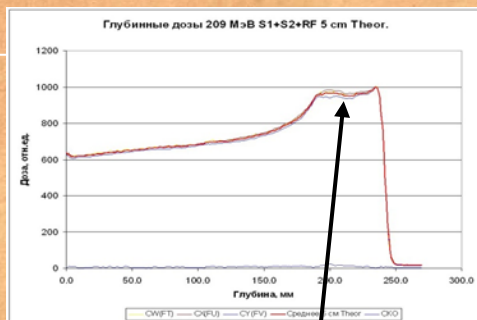


Физические результаты экспериментов

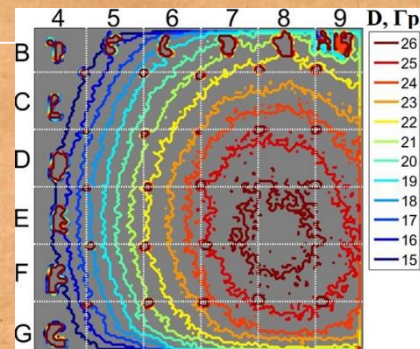
Использованные режимы облучения ($E=209$ MeV, доза $D = 3\div 60$ Гр):

- а) Ультра флэш - $dD/dt = 30 \div 300 \cdot 10^3$ Гр/с, $t \sim 10^{-4}$ с, число импульсов $N=1$;
- б) «обычный» флэш - $dD/dt \sim 100$ Гр/с, $t \sim 10^{-2}$ с, $N \sim 10$;
- с) конвенциональный - $dD/dt < 1$ Гр/с, $t \sim 10$ с, $N=500-1000$.

Ультра флэш-режим с протонами (в пике Брэгга) был реализован впервые!



Положение образцов в области SOBP



Распределение доз по лункам планшета с клетками

Первые биологические результаты экспериментов

рис.2 апоптоз для флэш и конвенц через 24ч.

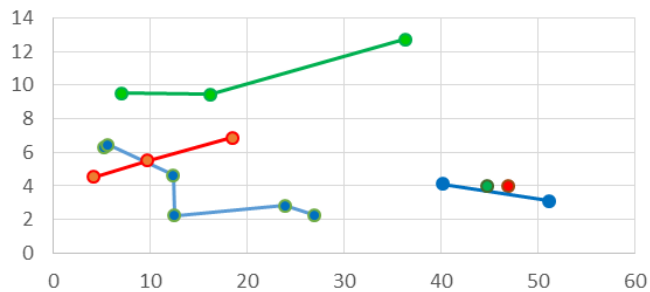
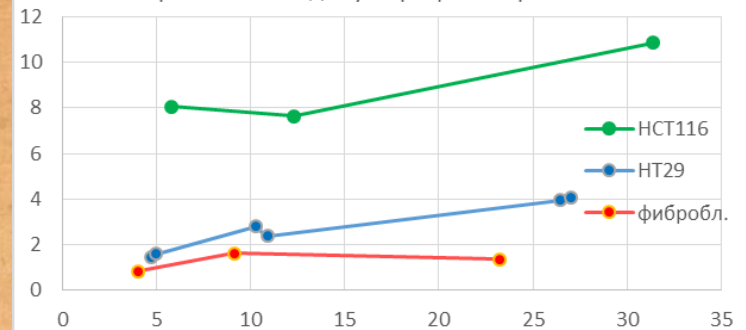
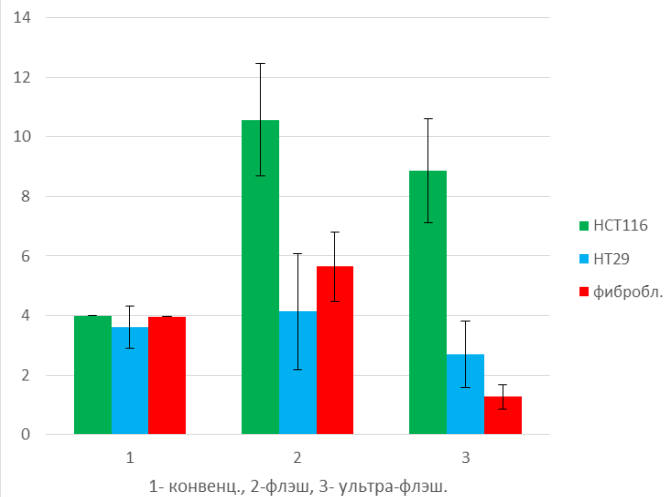


рис.1 апоптоз для ультра-флэш через 24 ч.



уровень апоптоза для разных режимов



Выводы:

1. Достигнуты рекордные значения средней мощности дозы протонов.
2. В новом режиме облучения (за 1 импульс) **флэш-эффект больше**, чем в «обычной» флэш-терапии – обнаружена зависимость **SF** от мощности дозы в новой области.

$$\mathbf{SF = 2 \div 6 !}$$

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !