

Обнинский институт атомной энергетики — филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

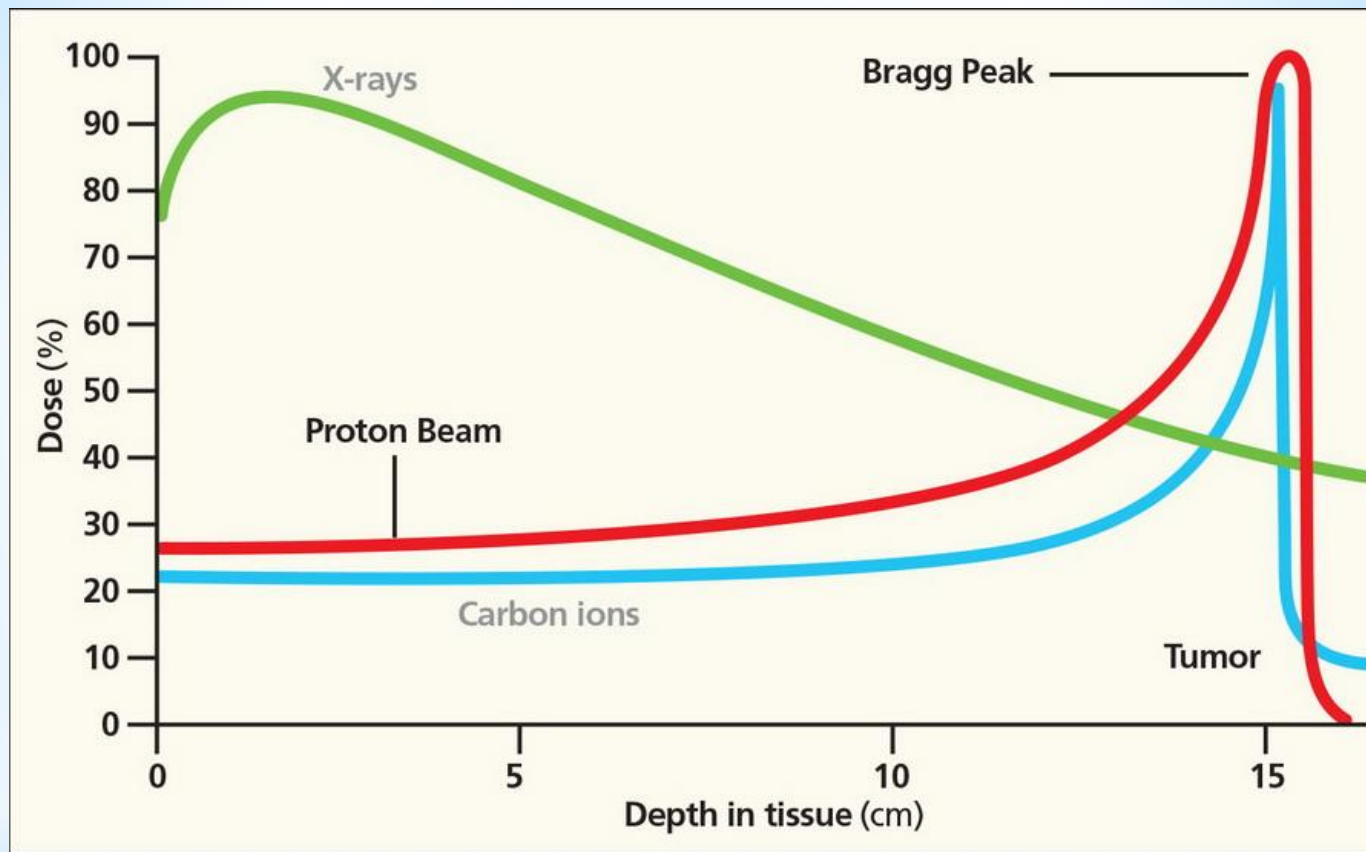
Медицинский радиологический научный центр им. А. Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России.

Применение аддитивных технологий для оценки средней поглощенной дозы в объеме.

Дюженко С.С., Голованова О.Ю., Сабуров В.О., Трошина М.В., Ульяненко С.Е.

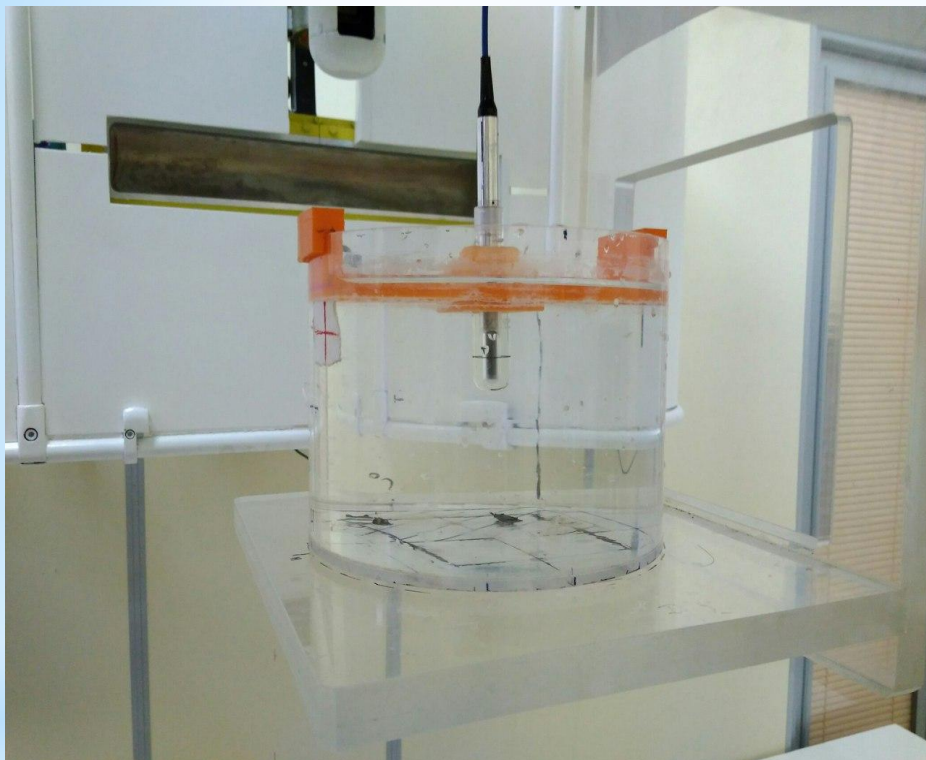
Обнинск 2017.

Терапия протонами и тяжелыми ионами



- Подведение максимальной дозы в объем мишени
- Минимальное воздействие на окружающие ткани и критические органы
- Высокая точность облучения мишени
- Облучение малых мишеней

Оборудование для проведения дозиметрии

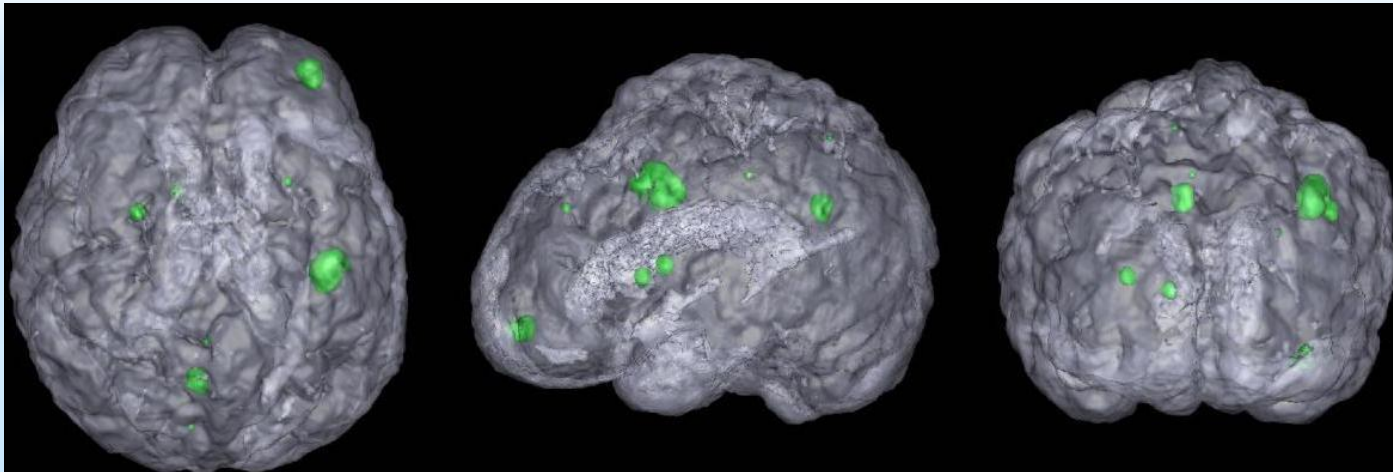
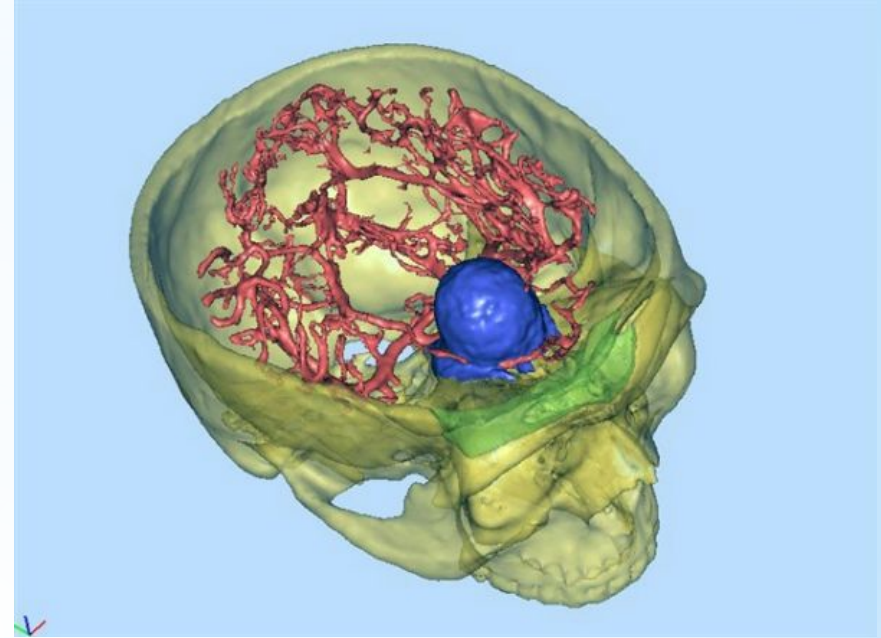
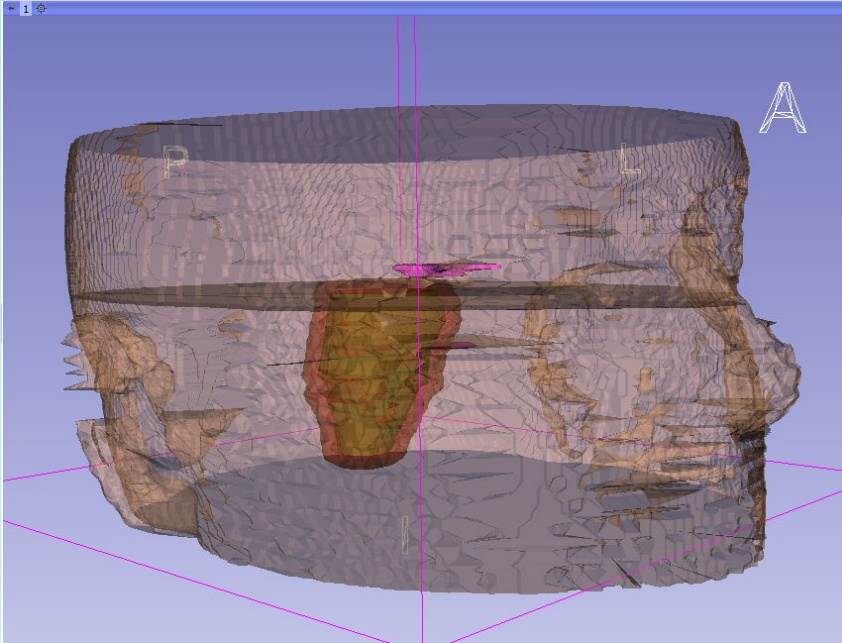


Ионизационная камера в водном фантоме



Антропоморфный фантом с радиохромными пленками

Различные геометрии мишеней для лучевой терапии



Методика определения средней поглощенной дозы в объёме

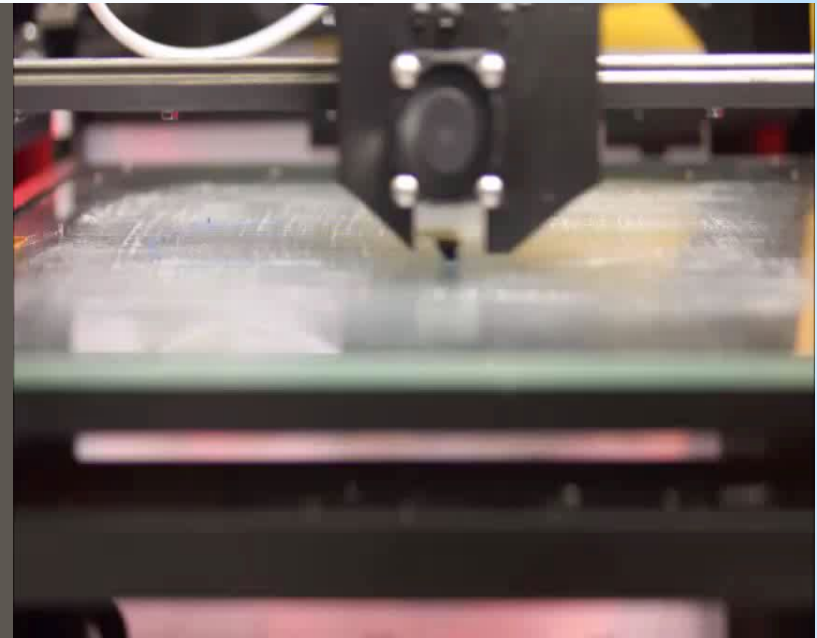
1. FDM технология 3D печати
2. Химическая дозиметрия

FDM технология 3D печати

Технология печати

Катушка с материалом

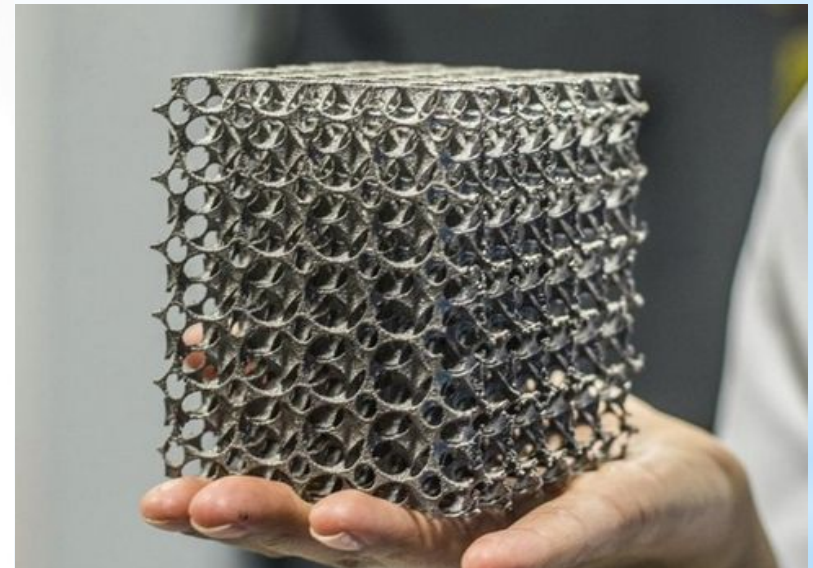
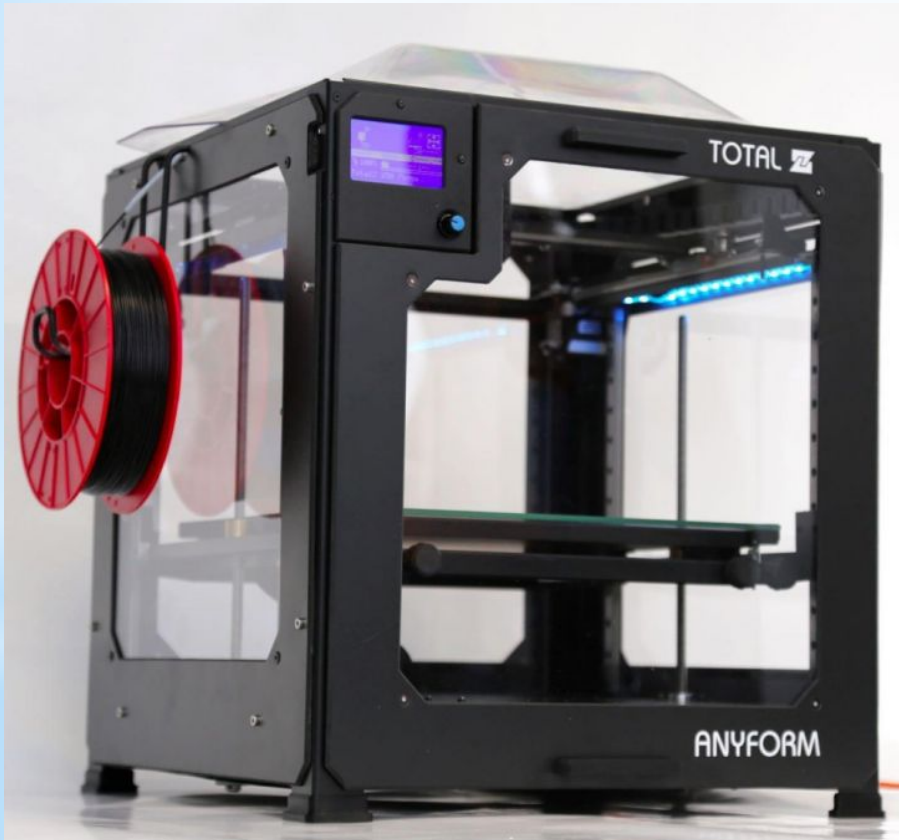
- 1 Нить подводится к экструдеру
- 2 Экструдер использует валик и систему захватов, чтобы подавать и отводить точное количество материала
- 3 Нагревательный блок расплавляет материал до заданных температур
- 4 Нагретый материал проталкивается через нагретое сопло нужного диаметра
- 5 Выдавленный материал слой за слоем строит модель
- 6 Печатающая головка и/или стол двигаются по осям X/Y/Z, чтобы положить материал по заданным координатам



FDM подразумевает создание трехмерных объектов за счет нанесения последовательных слоев материала, повторяющих контуры цифровой модели.

В качестве материалов для печати выступают термопластики в виде катушек нитей или прутков.

- Широкий спектр материалов для печати
- Низкая токсичность
- Низкая стоимость
- Возможность печати сложной геометрии



3D принтер Total Z Anyform 250-G3

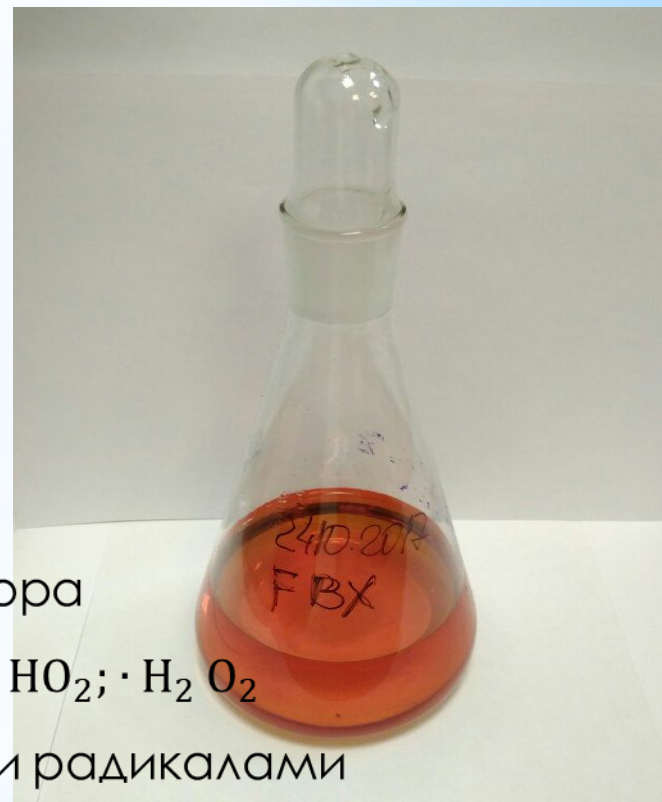
Ферросульфатный дозиметр Фрикке (FBX)

$$D = 9.65 \cdot 10^6 \frac{M}{\rho \cdot G}$$

M - молярная концентрация ионов железа

G - Радиационно-химический выход

1. Возбуждение и ионизация молекул раствора
2. Образование свободных радикалов $\cdot \text{OH}$; $\cdot \text{NO}_2$; $\cdot \text{H}_2 \text{O}_2$
3. Взаимодействие ионов Fe^{2+} с свободными радикалами
4. Образование ионов Fe^{3+} и изменение цвета раствора
5. Измерение оптической плотности раствора на спектрофотометре
6. Вычисление поглощенной дозы, пропорциональной молярной концентрации ионов железа Fe^{3+}

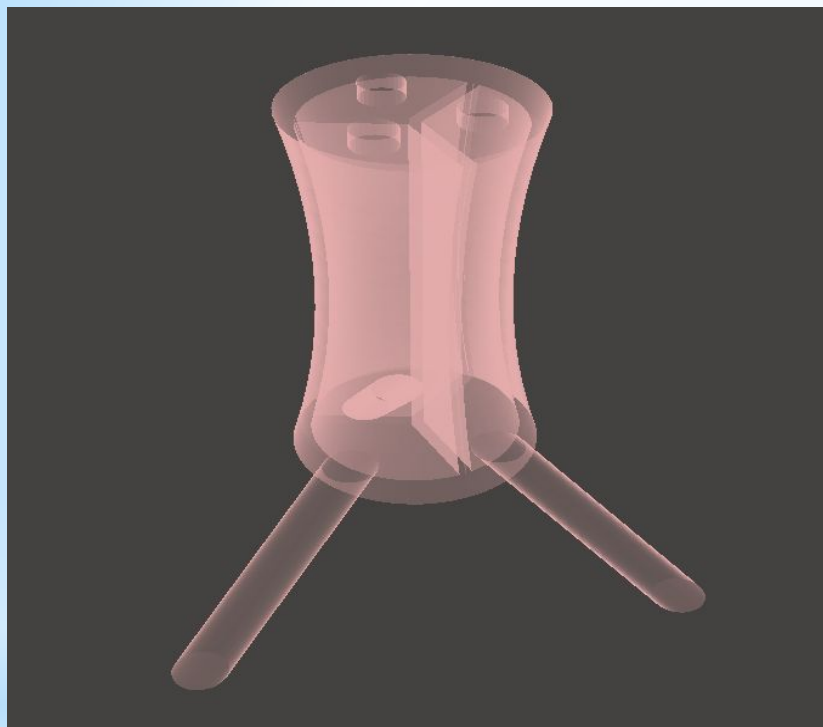


Протонный комплекс «Прометеус» (ЗАО «Протом»)



- Энергия пучка 30-330 МэВ
- Относительная погрешность энергии $\pm 0.15\%$
- Интенсивность пучка $1 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$
- Сканирующая система вывода пучка
- Возможность использования дозиметра Фрикке

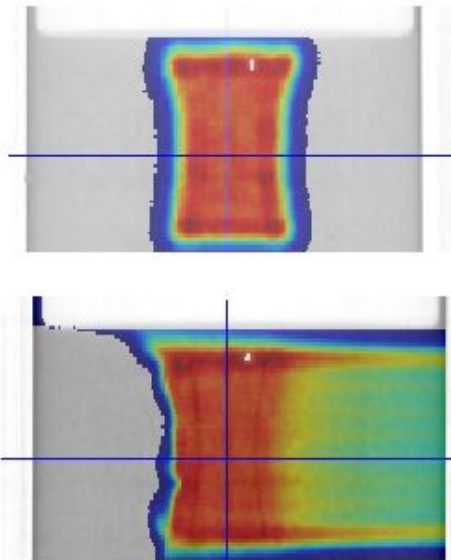
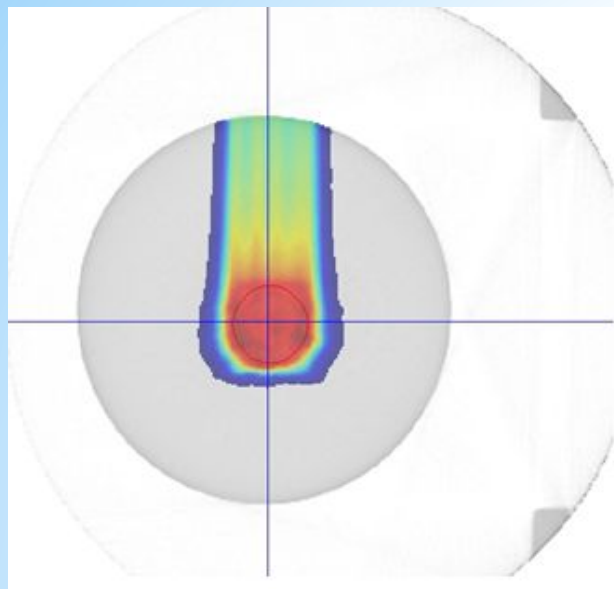
Тестирование метода дозиметрии на моделях сложной геометрии



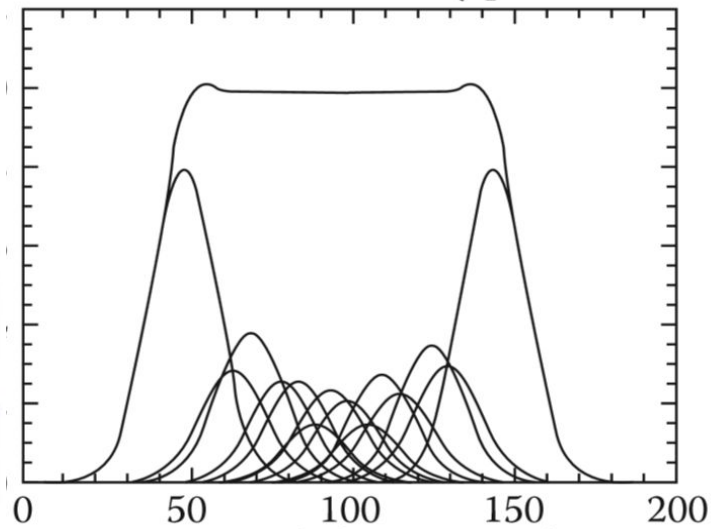
Компьютерная модель мишени



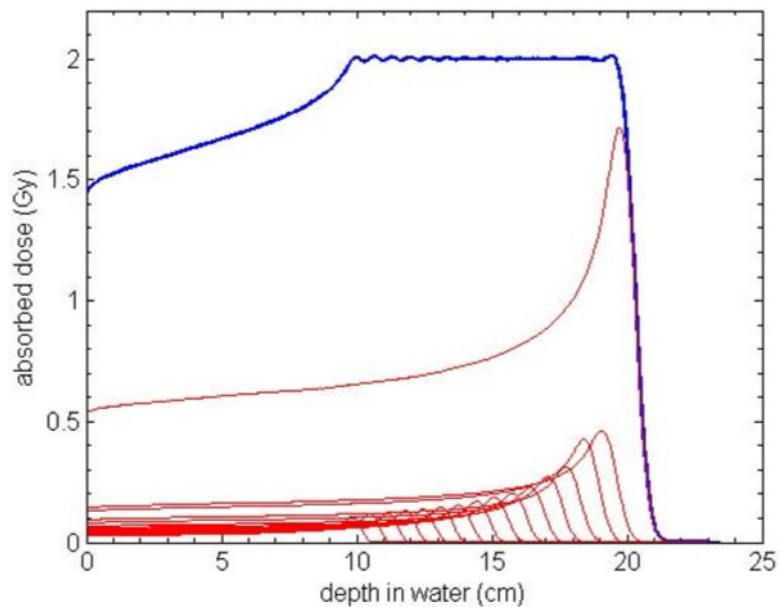
Распечатанная и подготовленная модель



Nonuniform intensity profile



План облучения мишени

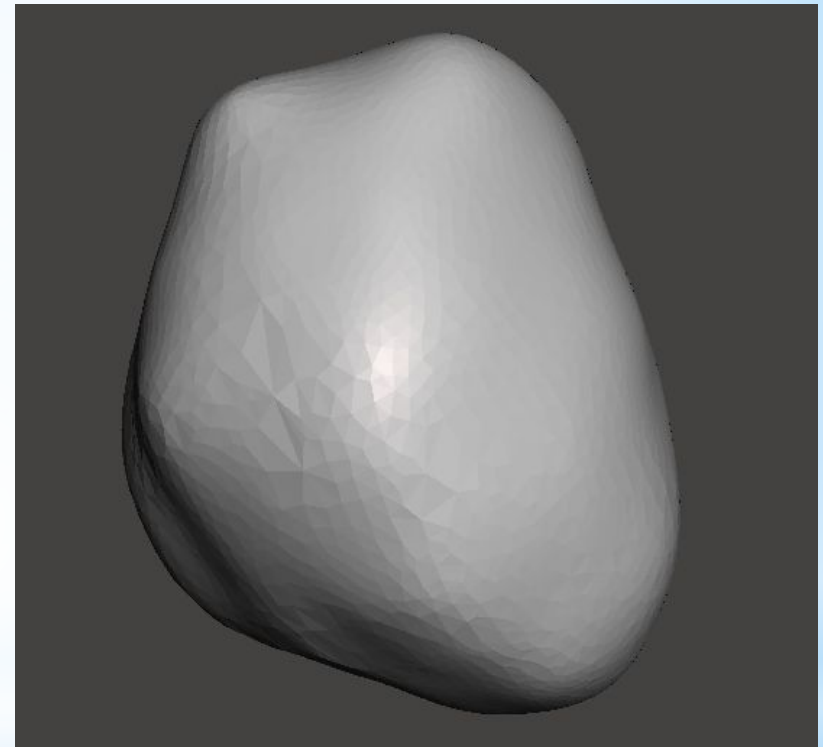


Мишень в водном фантоме

Модель PTV\GTV для определения дозовых распределений в терапевтических объемах

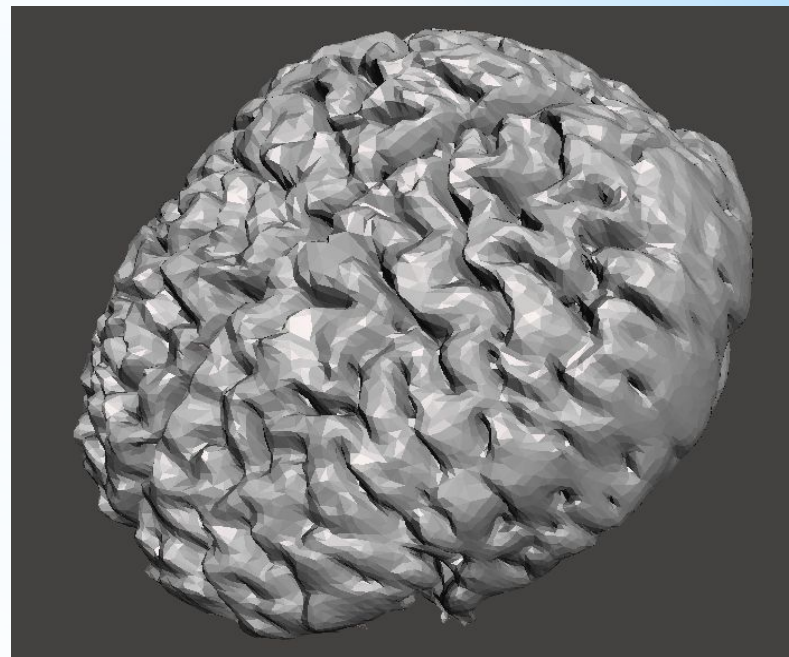
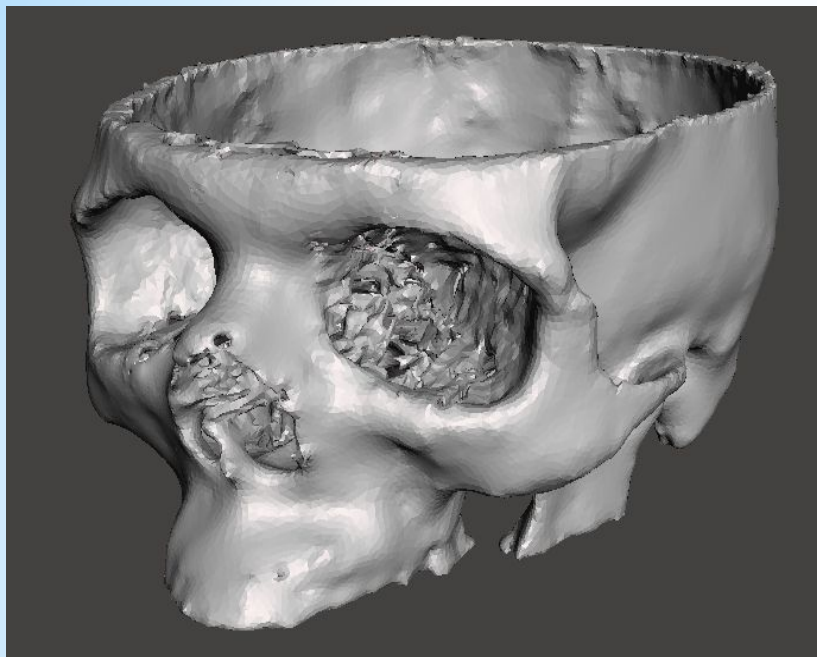


Оконтуренные PTV и GTV на снимке компьютерной томографии.



Модель GTV пациента

Модели анатомических структур



Модели воспроизводят анатомические структуры пациентов, проходящих курс протонной лучевой терапии.

Все модели созданы по снимкам, МРТ и КТ томографий, используемым при диагностике и планирование курса лечения онкологических заболеваний.

Результаты

- Подобран химически нейтральный материал, используемый в 3D печати и не вступающий в реакцию ни с одним из компонентов FBX дозиметра
- Изготовление герметичных мишеней сложной геометрии для размещения дозиметра FBX
- Проведено измерение средней поглощенной дозы в объеме для мишеней различной формы
- Полученные результаты подтверждают возможность применения представленной технологии для дозиметрии протонных пучков

Возможное применение FDM технологии в лучевой терапии и радиобиологических исследованиях

- Создание персонафицированных фантомов
- Создание оснасток для клеточных культур в радиобиологических исследованиях
- Разработка методик для подготовки медицинских физиков
- Создание иммобилизующих устройств

Спасибо за внимание!

s.dujenko@gmail.com