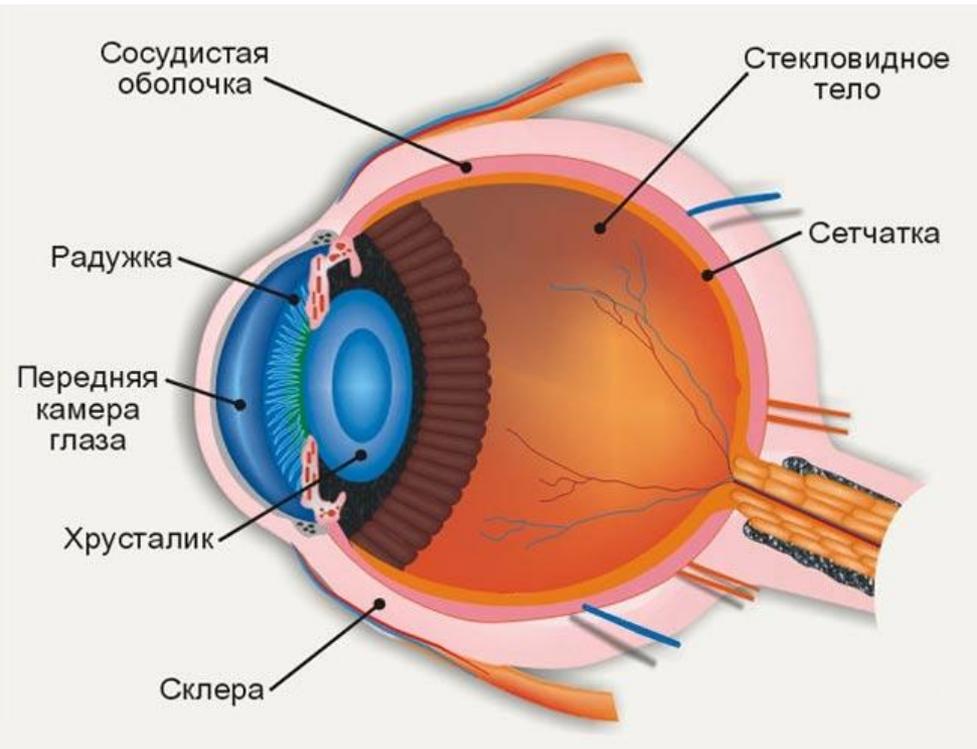


ФОРМИРОВАНИЕ МЕДИЦИНСКОГО ПУЧКА

- **Предыдущие работы в этом направлении**
 - **Расчет пучка 200 МэВ в зале облучения пристройки МБ (с Н.К. Абросимовым, Е.М.Ивановым и Г.А.Рябовым)**
 - **Аналитическое представление пика Брэгга для протонного пучка с энергией 200 МэВ (с Лебедевой Ж.С.)**

**Формирование медицинского пучка
пространственно происходит между выходом
вакуумного тракта и облучаемым объектом
(пациентом)**

Глаз



- Диаметр глазного яблока 23 мм
- Толщина роговой оболочки 0,6 мм
- Толщина склеры в экваториальной зоне 0,3 мм
- Толщина склеры в зоне диска зрительного нерва 1,3 мм
- Толщина хориоидеи в экваториальной зоне 0,12 мм
- Толщина хориоидеи в макулярной зоне 0,26 мм
- Толщина сетчатки в экваториальной зоне 0,18 мм
- Толщина сетчатки в центральной ямке 0,10 мм
- Толщина сетчатки рядом с диском зрительного нерва 0,56 мм
- Толщина хрусталика новорожденного 3,5 мм
- Толщина хрусталика в 20-летнем возрасте 4 мм
- Толщина хрусталика в 80-летнем возрасте 5 мм
- Диаметр зрительного нерва 4 мм

Неправильная шаровая форма.
Диаметр порядка 2.5 см

Глазные опухоли

Пример - Меланома сосудистой оболочки

T1 — опухоль размерами до 10 мм в наибольшем измерении толщиной до 3 мм:

T1a — опухоль размерами до 7 мм в наибольшем измерении толщиной до 2 мм,

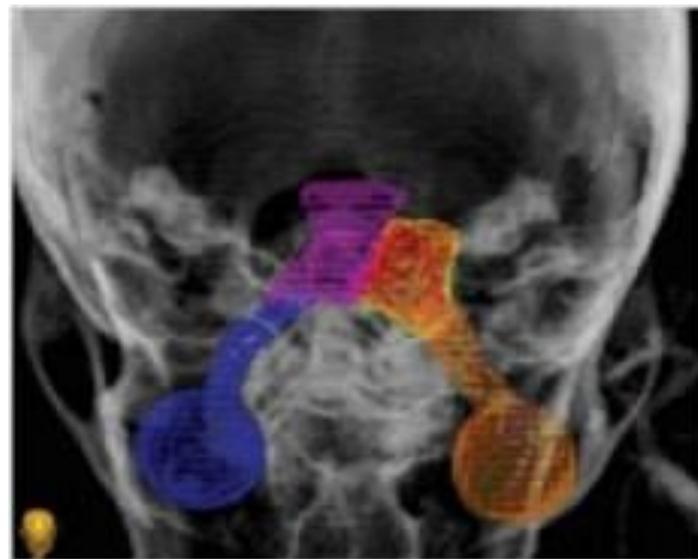
T1b — опухоль размерами до 10 мм в наибольшем измерении толщиной до 3 мм,

T2 — опухоль размерами до 15 мм в наибольшем измерении толщиной до 5 мм,

T3 — опухоль размерами более 15 мм в наибольшем измерении или толщиной более 5 мм,

T4 — опухоль распространяется за пределы глаза.

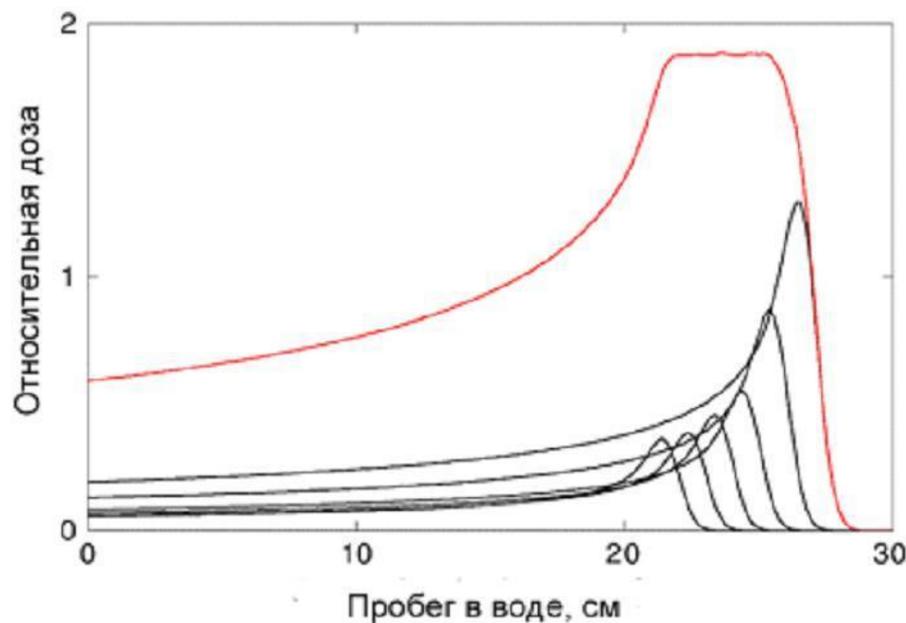
**Существенно, что располагаются
вблизи жизненно важных
органов, что накладывает
жесткие требования к
параметрам пучка протонов и
ограничивает применение γ .**



<http://cyberclinika.com/treatment-cancer/eyes.html>

Общие подходы к созданию пучка для облучения - формирование МКБ

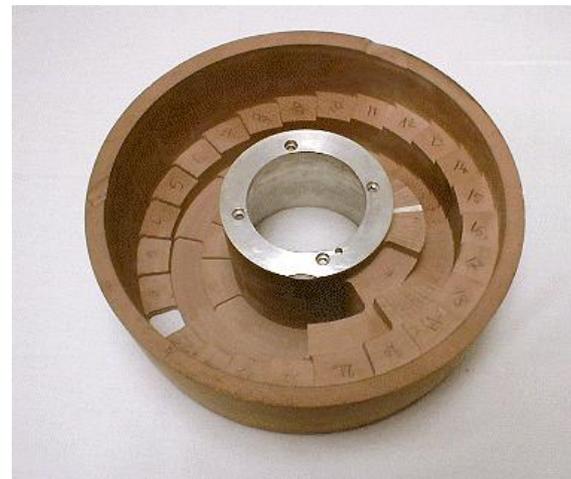
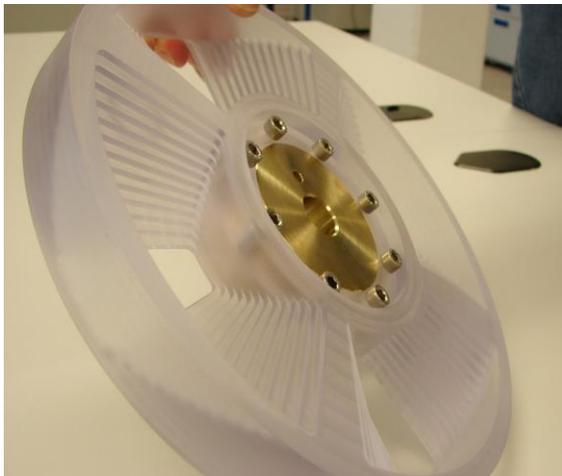
Необходимо для облучения образований с размерами несколько сантиметров по пучку.



Пробег протонов в воде		
Энергия МэВ	Пробег, мм	
	Janni	SRIM
50	22.52	21.89
55	26.73	26.01
60	31.26	30.43
65	36.09	35.15
70	41.23	40.16

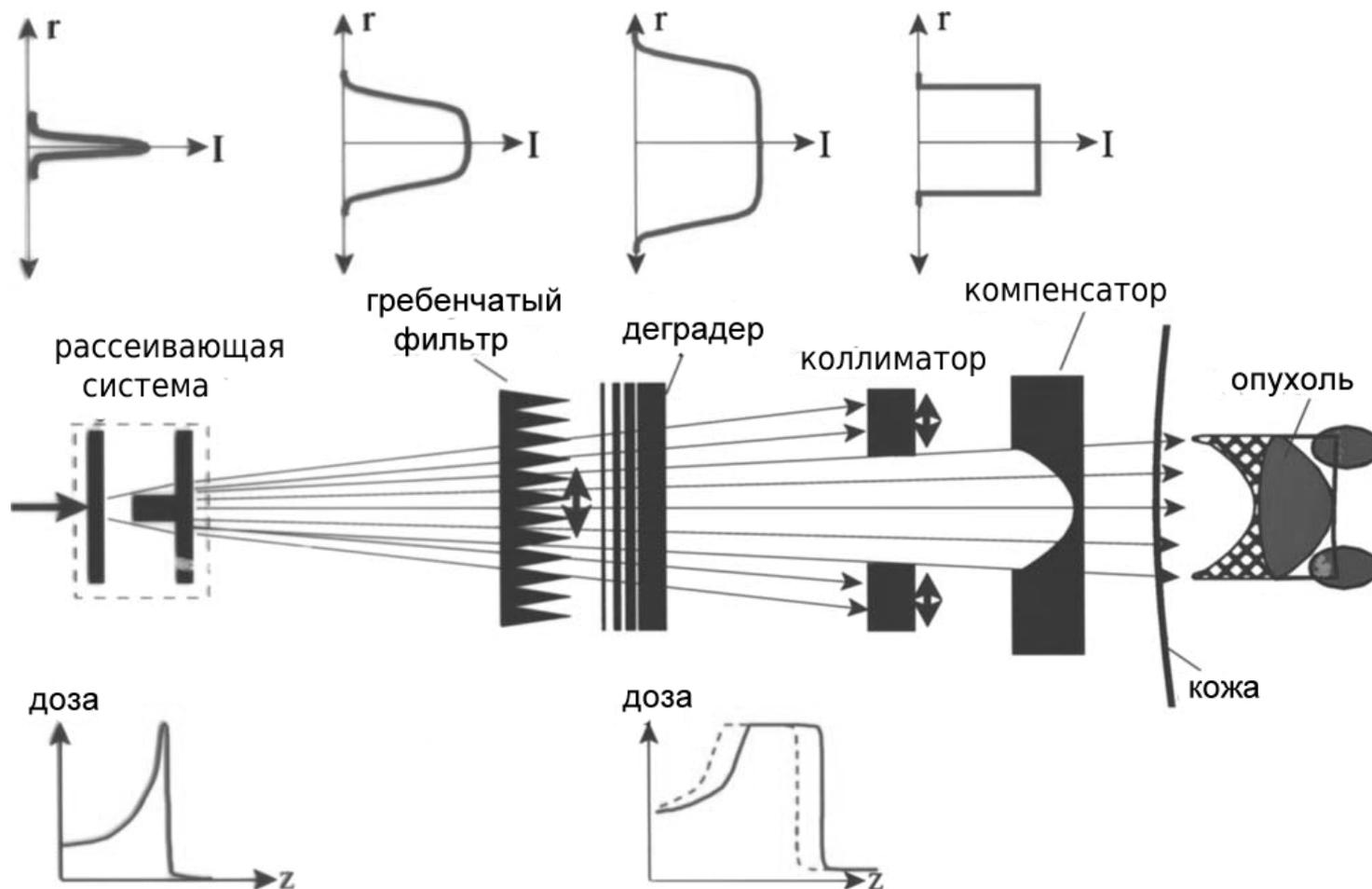
Общие подходы к созданию пучка для облучения - Формирование МБК

Гребенчатый фильтр



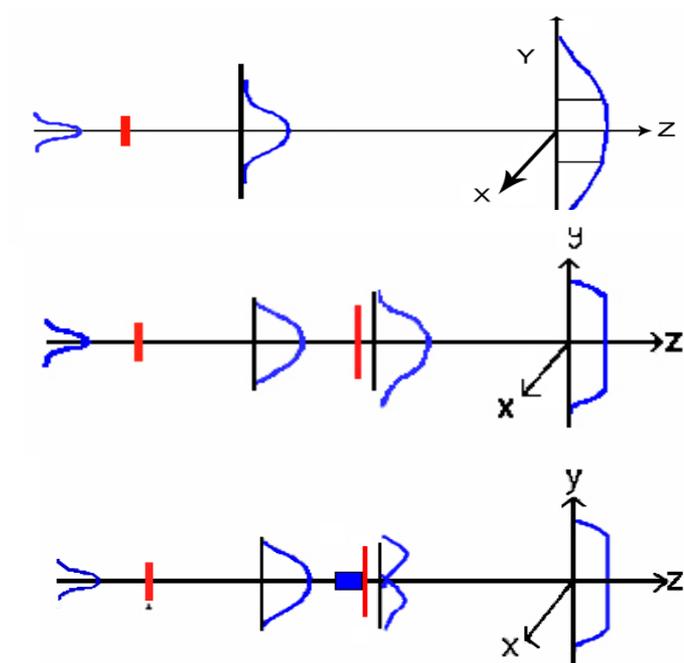
Общие подходы к созданию пучка для облучения

Метод пассивного рассеяния



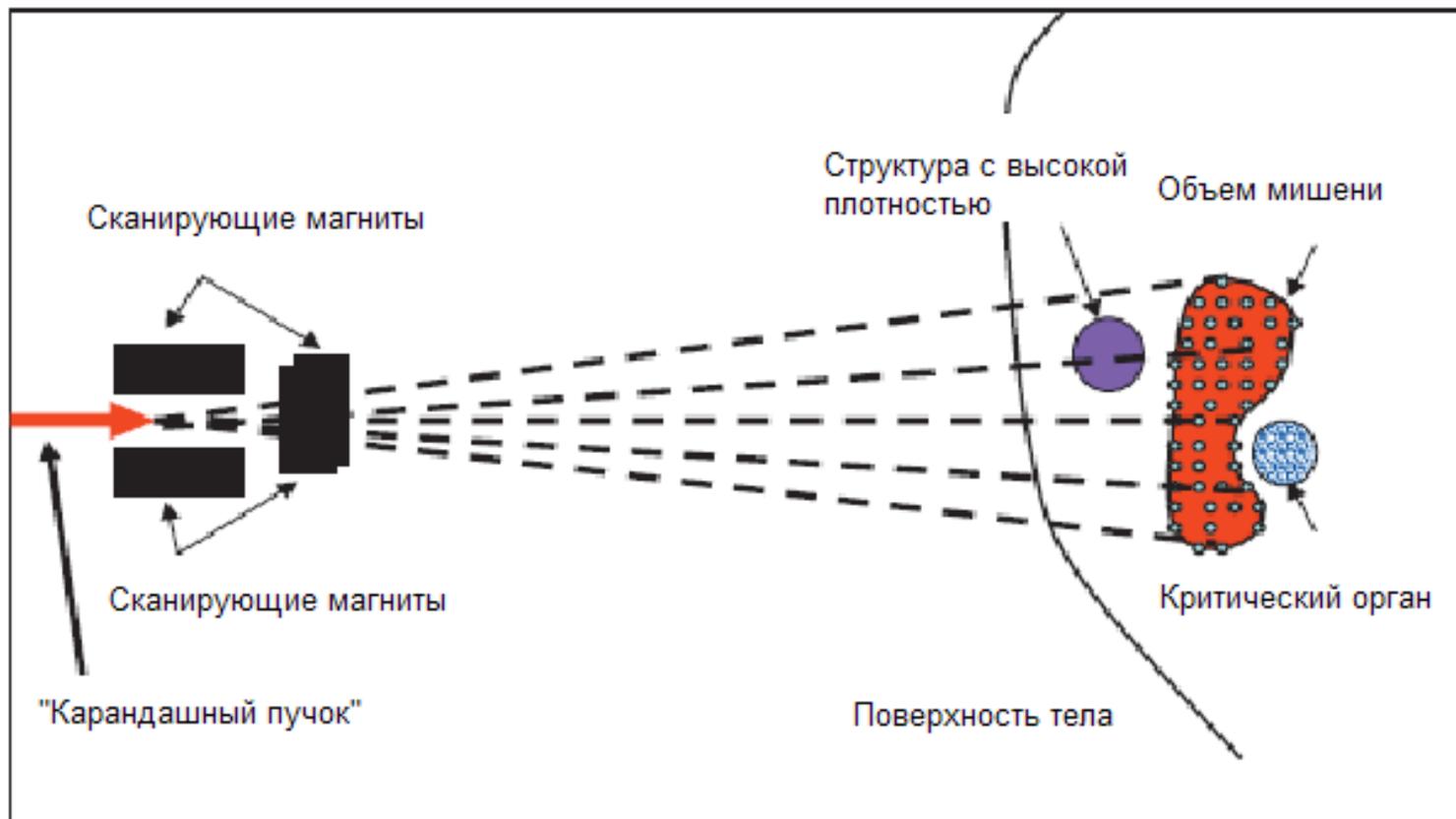
Общие подходы к созданию пучка для облучения. Метод пассивного рассеяния

Рассеяние на фольгах



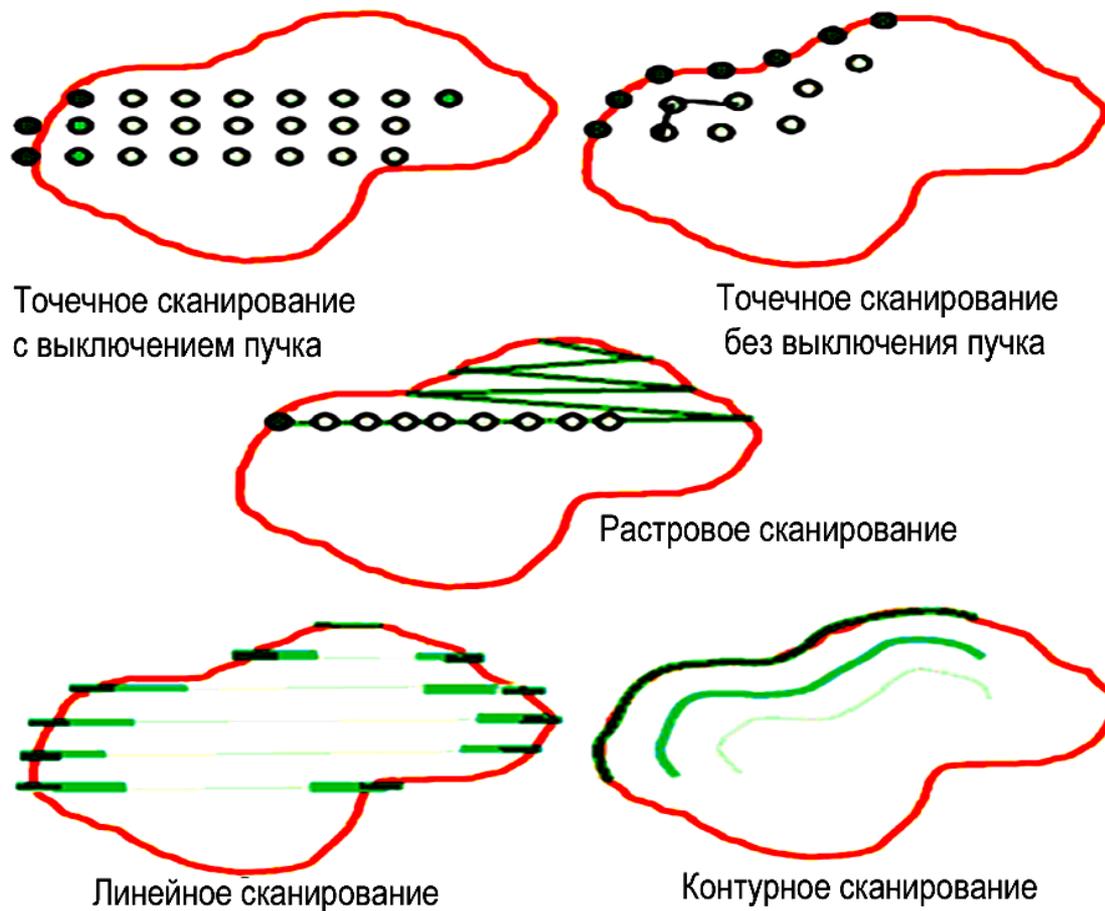
Общие подходы к созданию пучка для облучения

Метод карандашного пучка



Общие подходы к созданию пучка для облучения

Метод карандашного пучка - Методики сканирования



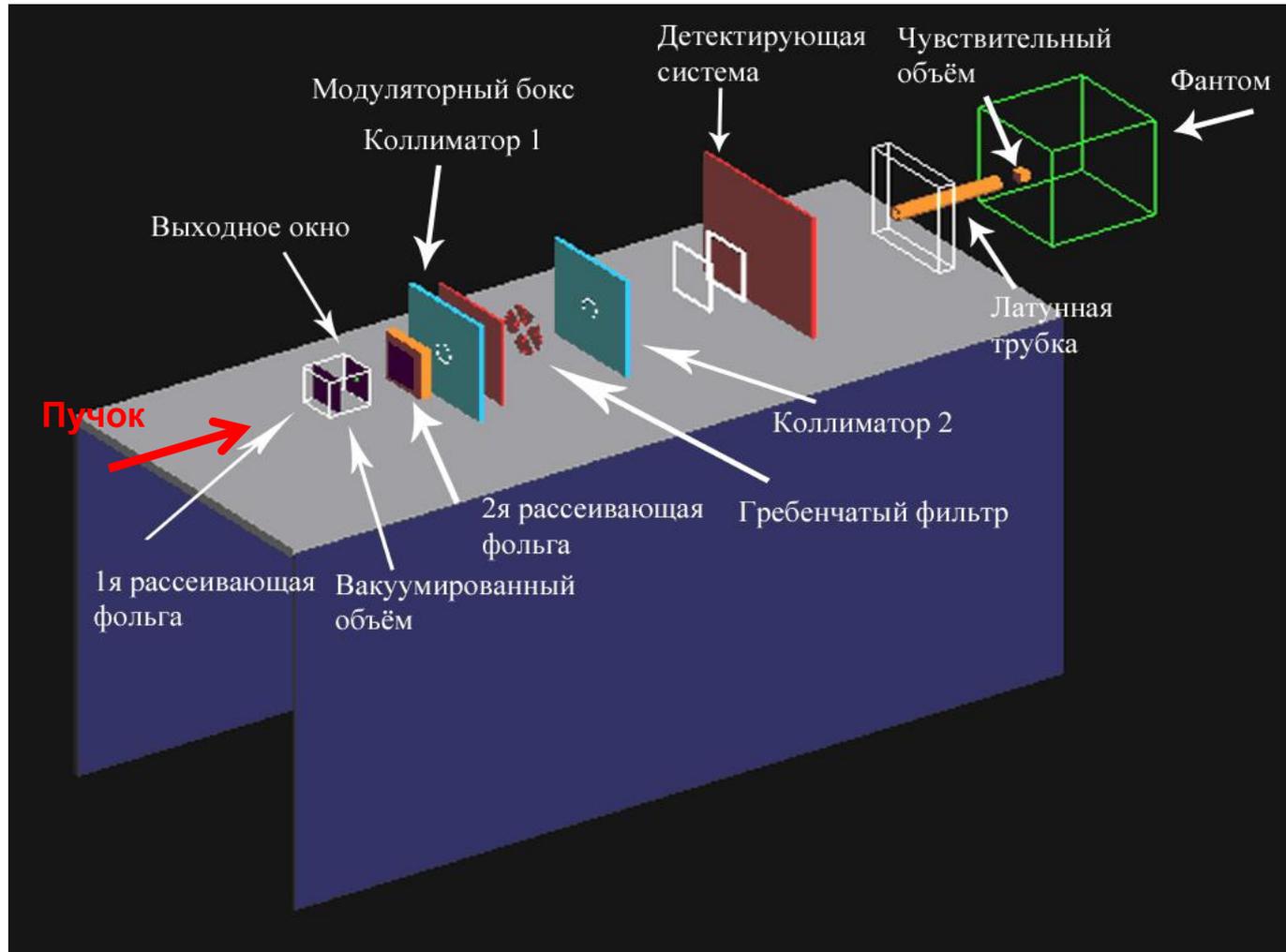
Моделирование Входной пучок

Розыгрыш координат точки входа пучка в систему - по нормальному распределению. Параметры – из данных расчета по программе TRANSPORT. (Расчет Марии Черновой).

№ пучка	Энергия, МэВ	X(max), мм	X', мрад	Y(max), мм	Y', Мрад
1	60	7.71	2.973	1.69	1.349
2	60	3.38	3.752	3.36	1.001
3	60	17.48	1.778	20.80	1.776
4	70	5.48	2.706	7.58	2.217
5	70	6.36	2.548	6.39	2.424
6	70	19.95	0.295	21.99	0.058

Моделирование. **GEANT4**

Виртуальная экспериментальная установка



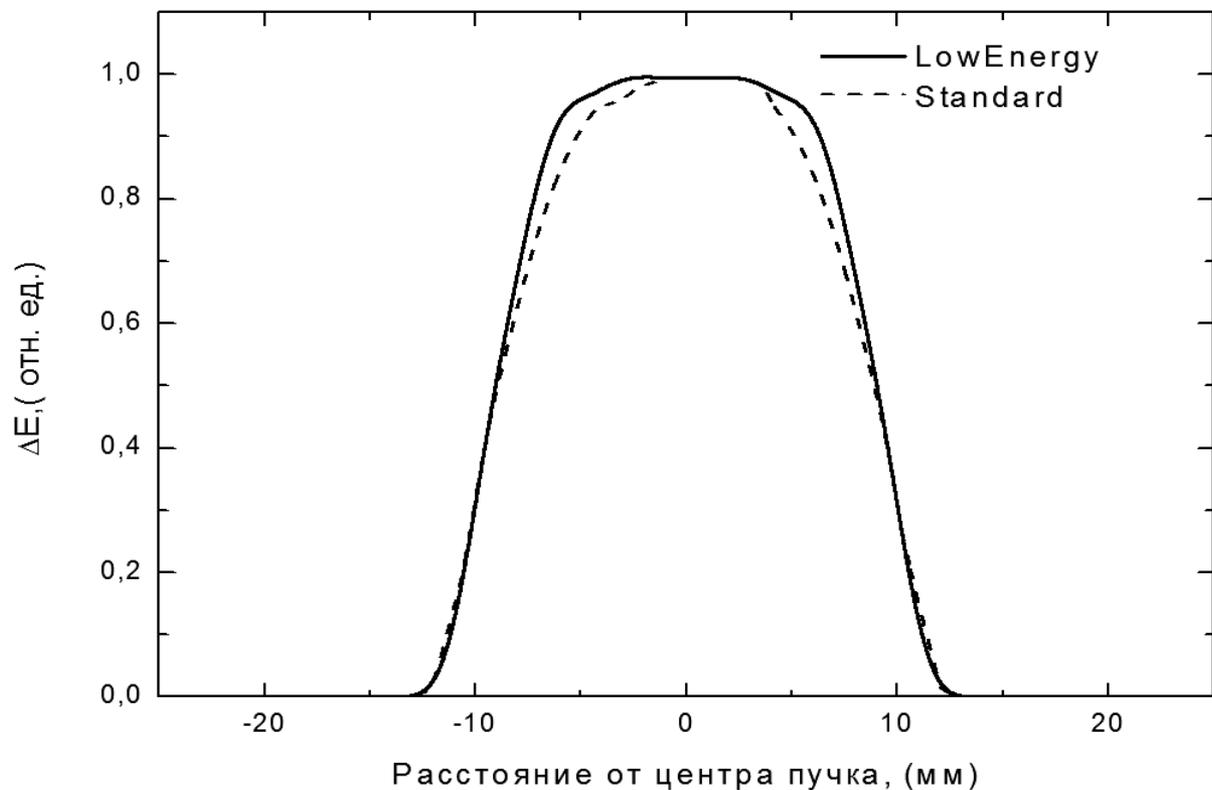
Моделирование

Виртуальная экспериментальная установка

Название элемента системы	Материал	Геометрическая форма	Геометрические размеры, мм
Вакуумированный объем	Вакуум	Параллелепипед	145×145×161
1я рассеивающая фольга	Тантал	Параллелепипед	145×145×(0.015-0.035) См. табл. 3.
Выходное окно	Каптон	Параллелепипед	145×145×0.055
Поглотитель	Латунь	Цилиндр	0×(3-7.5)×(0-8.5) См. табл. 3.
2я рассеивающая фольга	Тантал	Параллелепипед	145×145×(0.020-0.045) См. табл. 3.
Коллиматор 1	ПММА	Параллелепипед	200×200×40
Отверстие коллиматора 1		Цилиндр	0×(10)×40
Модуляторный бокс	Алюминий	Параллелепипед	400×400×570
Отверстие модуляторного бокса		Цилиндр	0×31×20**
Гребенчатый фильтр	ПММА	Набор цилиндрических слоев	См. п. 3.1 и рис. 10
Коллиматор 2	ПММА	Параллелепипед	200×200×40
Отверстие коллиматора 2		Цилиндр	0×(10)×40
Пластина, поддерживающая латунную трубку	ПММА	Параллелепипед	360×360×80
Отверстие для трубки		Цилиндр	0×19×80
Латунная трубка	Латунь	Цилиндр	20×29.5×370
Конечный коллиматор	Латунь	Усеченный конус	(8-15)× 20×15×25×20*
Фантом	Вода	Параллелепипед	400×400×400
Чувствительный объем	Вода	Параллелепипед	40×40×40

Моделирование

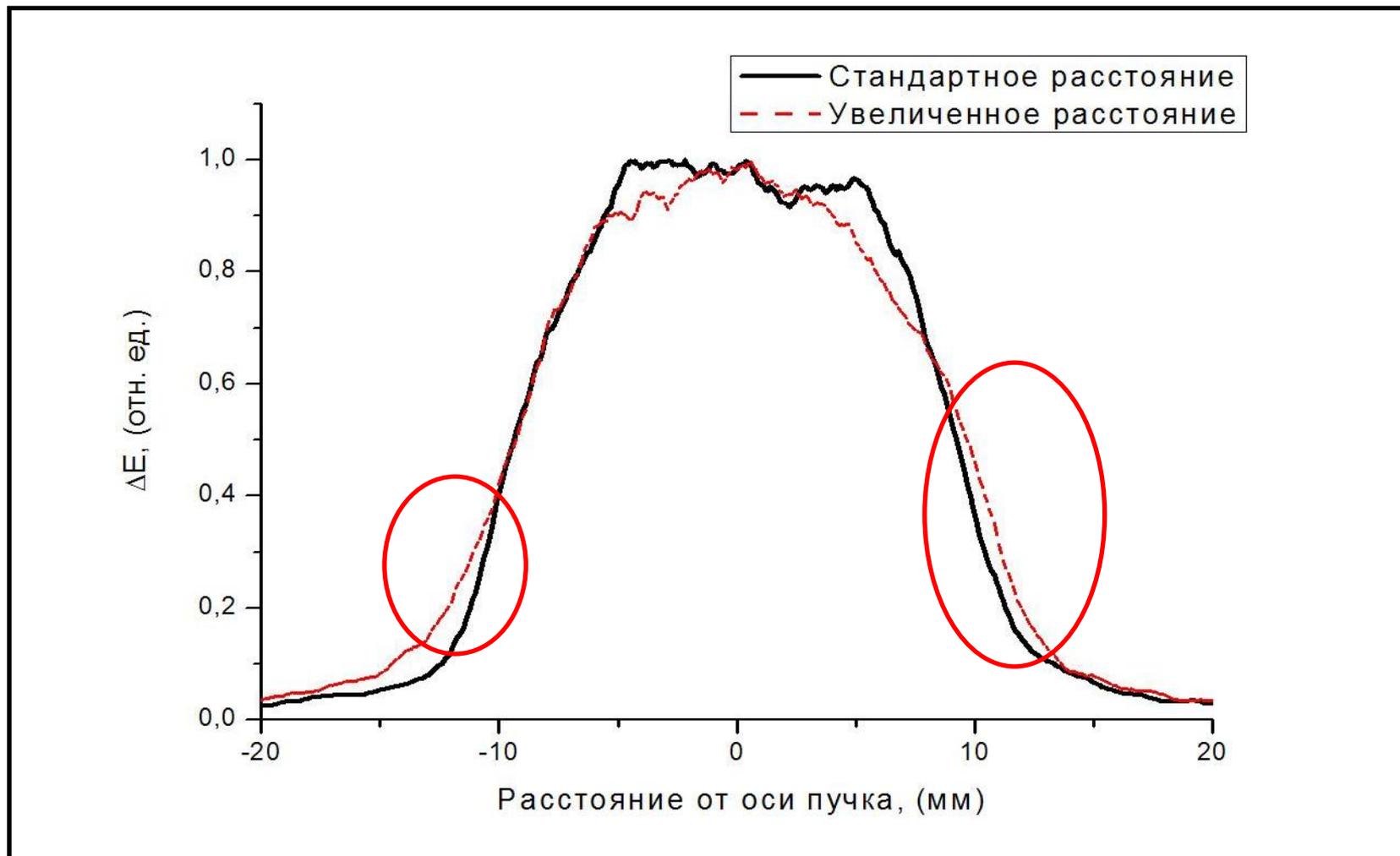
Пример выбора модели взаимодействия



Standart – локальное поглощение δ -электронов
Low Energy – электроны прослеживаются

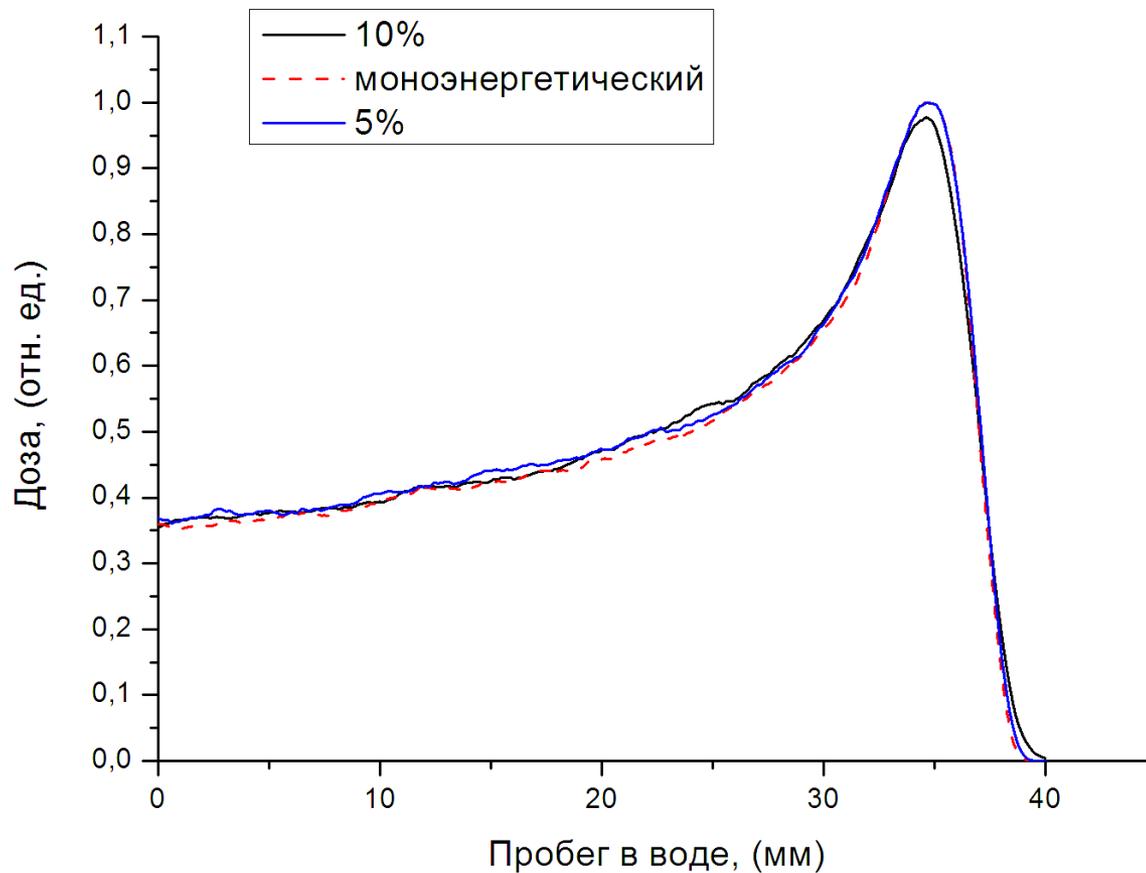
Результаты

Зависимость от расстояния до объекта



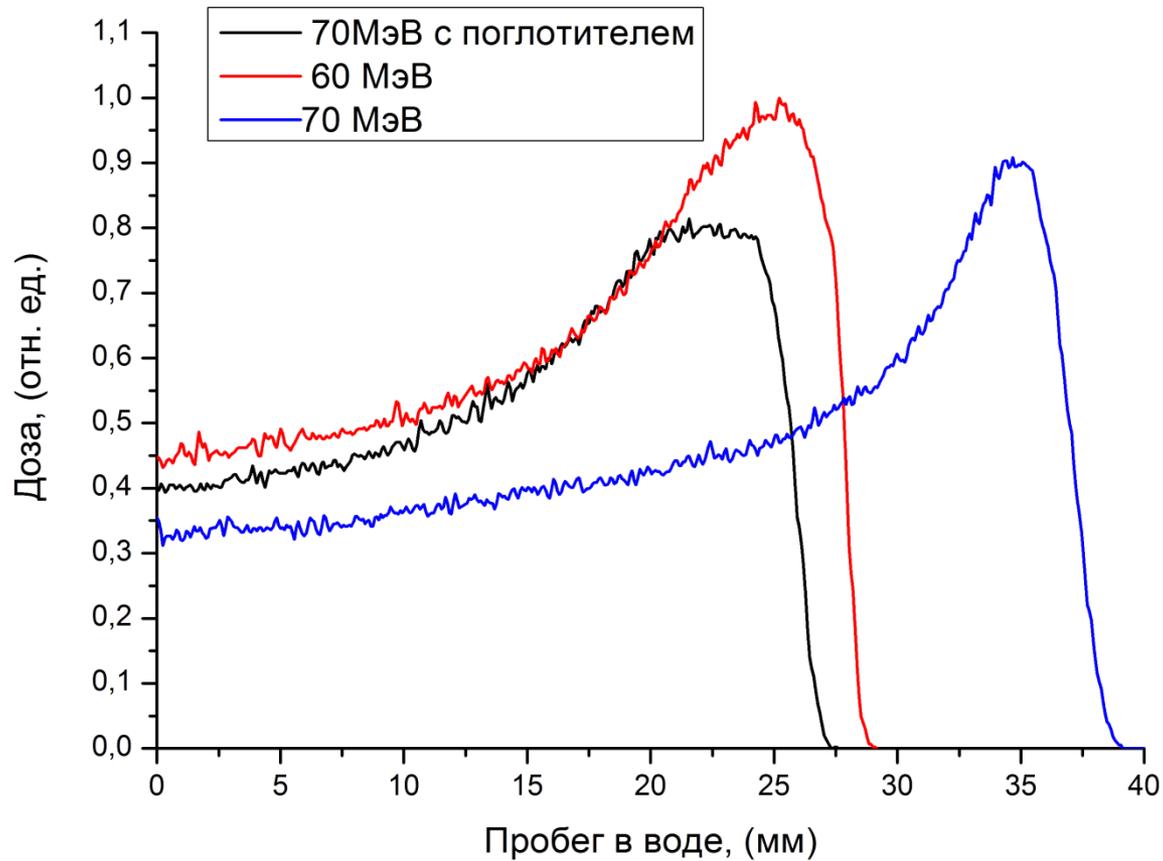
Результаты

Немоноэнергетичность пучка



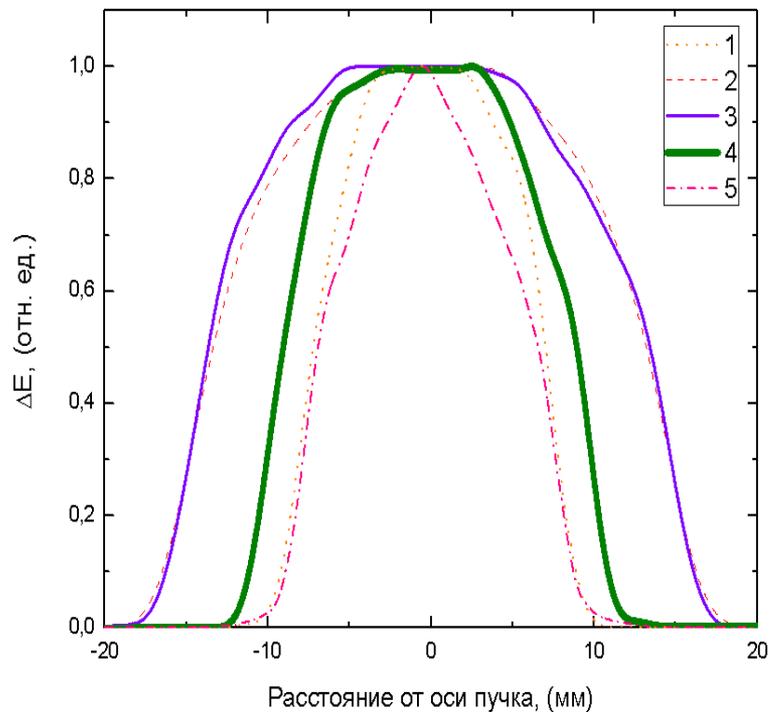
Результаты

Применение поглотителя



Поглотитель – вода, 12 мм.

Результаты. Профиль пучка

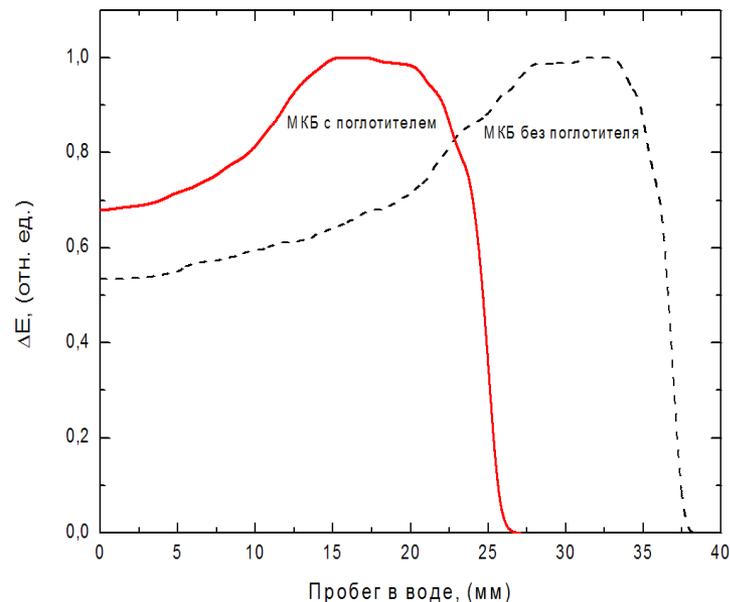
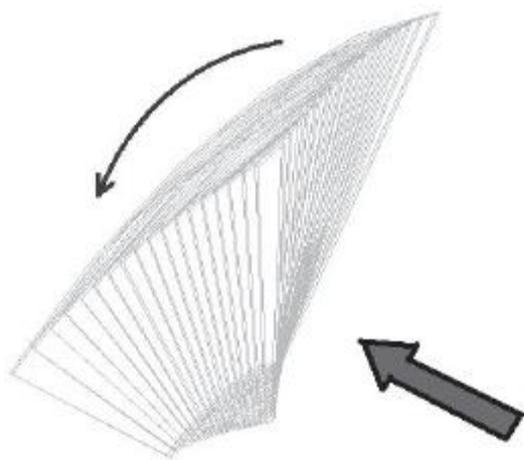


Номер кривой	Толщина 1-ой фольги, мкм	Толщина 2-ой фольги, мкм	Поглотитель центральной части пучка		Радиус конечного коллиматора, мм
			Радиус, мм	Высота, мм	
1	15	20	4	4	8
2	15	25	3	8,5	15
3	35	45	5	8,5	15
4	20	25	4	8	8
5	-	-	-	-	8

Результаты. Формирование МБК.

Гребенчатый фильтр.
Элемент крыла. Повторяется
еще 3 раза с поворотом на 90°.
Толщина элементов 4 мм.

Поворот фильтра вокруг оси
параллельной пучку с шагом 5°.

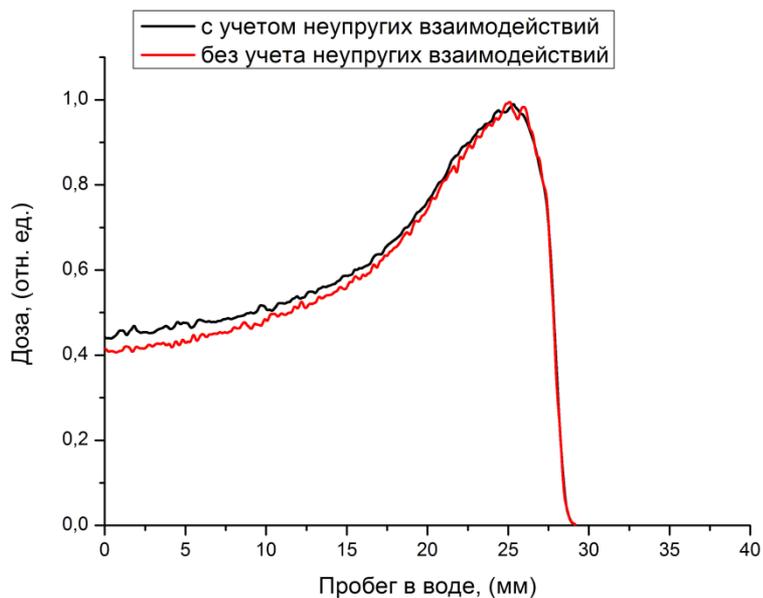


Поглотитель – 12 мм воды.

Результаты. Учет неупругих взаимодействий

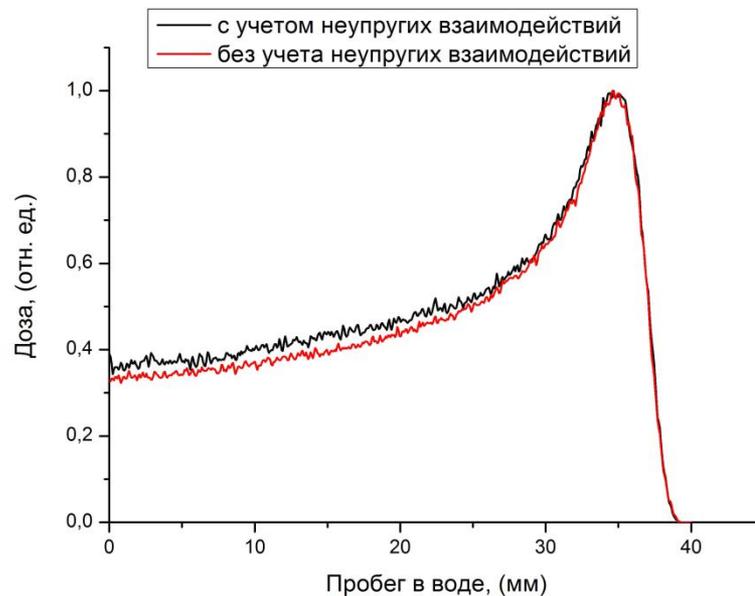
60 МэВ

Вклад неупругих процессов 3.5%



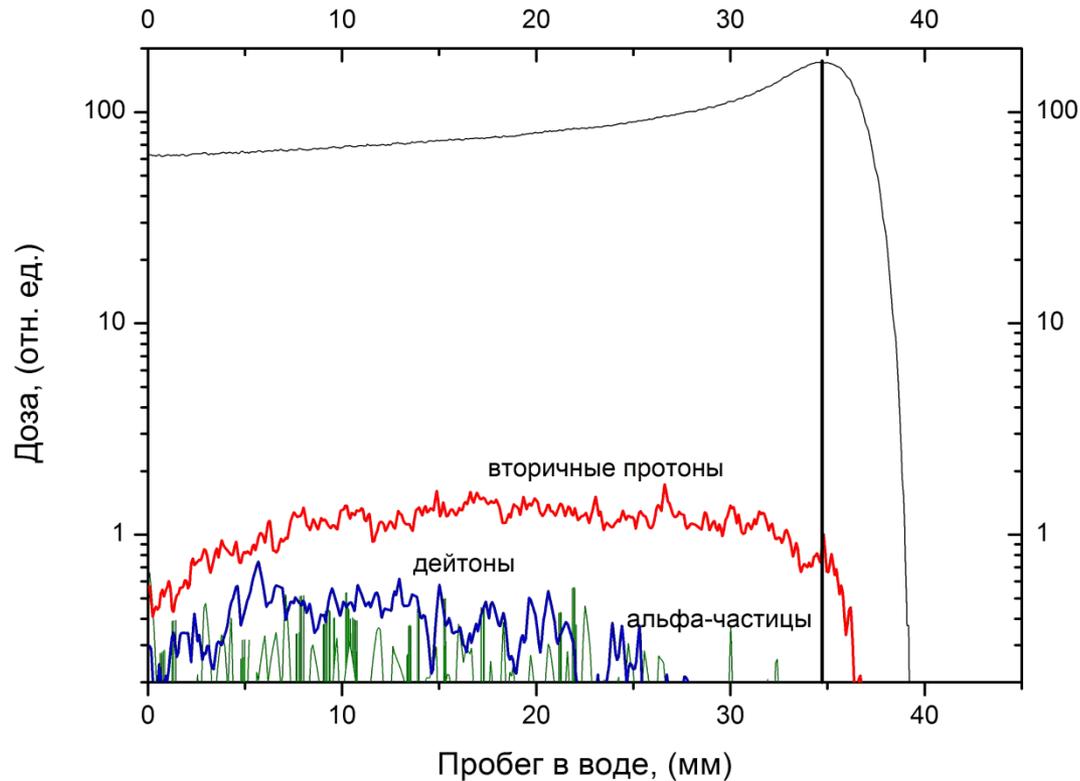
70 МэВ

Вклад неупругих процессов 4.5%



Результаты.

Вклад продуктов неупругих взаимодействий



Продукты реакции:

Протоны - 1.5%
Дейтоны - 0.3%
 α -частицы - 0.18%
Ядра отдачи и
нейтроны – 2.5%

Для протонов 160 МэВ
вклад α -частиц оценен
в 0.2%
(Paganetti, 2002)

Энергия протонов 70 МэВ

Расчет для тканеэквивалентных материалов

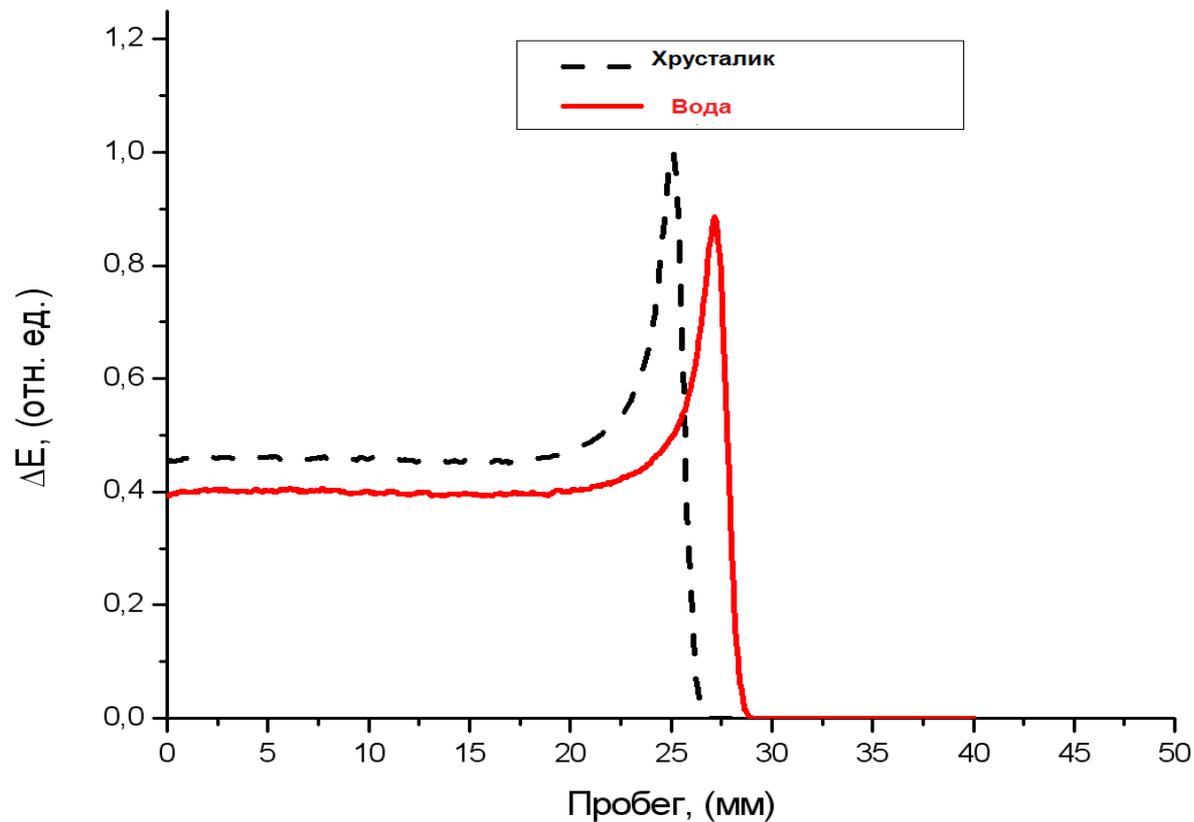
Состав

	Вода	мягкая ткань (МКРЗ)	хрусталик		мягкая ткань (МКРЕ)	
			МКРЗ	МКРЕ	Муж.	Жен.
H	11,19	10,45	9,93	9,6	10,5	10,6
C	-	23,22	19,37	19,5	25,6	31,5
N	-	2,49	5,33	5,7	2,7	2,4
O	88,81	63,02	65,38	64,6	60,2	54,7
Na	-	0,11	-	0,1	0,1	0,1
Mg	-	0,01	-	-	-	-
P	-	0,01	-	0,1	0,2	0,2
S	-	0,13	-	0,3	0,3	0,2
Cl	-	0,13	-	0,1	0,3	0,1
K	-	0,2	-	-	0,2	0,2
Ca	-	0,02	-	-	-	-
Fe	-	0,005	-	-	-	-
Zn	-	0,003	-	-	-	-
Плотность, г/см ³	1	1	1,1	1,1	1,03	1,02

Результаты расчетов

Материал	Позиция пика Брэгга, мм	E_{sr}/E_{st} з-м	E_{sr}/E_{st} все процессы	Уменьшение E_{sr}/E_{st} при включении адронных процессов, (%)	Вклад в общее энерговыделение, %
Вода	27.1	2.427	2.244	8.17	6.6
Мягкая ткань (МКРЗ)	27.3	2.367	2.208	7.22	5.6
Хрусталик (МКРЗ)	25.1	2.325	2.205	5.44	4.5
Хрусталик (МКРЕ)	25.7	2.225	2.187	1.74	5.4
Мягкая ткань муж. (МКРЕ)	26.3	2.340	2.219	5.47	5.6
Мягкая ткань жен. (МКРЕ)	26.6	2.383	2.200	8.32	7.1

Расчет для тканеэквивалентных материалов



Выводы

- Проведен анализ основных составляющих системы формирования медицинского пучка строящегося циклотрона ПИЯФ;
- В рамках комплекса GEANT4 создана виртуальная модель системы формирования пучка для энергий протонов 60-70 МэВ;
- Проанализировано влияние на качество получаемого пучка:
 - Учета тех или иных моделей взаимодействия
 - Взаимного расположения и характеристик элементов виртуальной установки, формирующий пучок
- Показано, что для пучков протонов с энергиями 60-70 МэВ недооценка энерговыделения при неучете ядерных реакций составляет 3.5 – 4.5 %, что существенно для задач протонной терапии;
- Полученные результаты могут быть использованы как этап в подготовке специалистов при работе с реальными планирующими системами

Планы на 2012 год

- **Проведение экспериментальной проверки**
 - 20 МэВ протоны – СПбГТУ
 - 70 МэВ – ПИЯФ (if any)
- **Учет биологической эффективности излучений**
- **Считал бы желательным стажировку молодых сотрудников УО в одном из европейских центров протонной терапии**

Авторы

Н.А.Иванов, Ж.С.Лебедева, М.Г.Тверской и Ю.Б.Шуракова

**Благодарят за внимание
и поздравляют всех с наступающим
2012 годом**