

# Фотонейтроны вокруг медицинского линейного ускорителя электронов

Веренич К. А., Миненко В. Ф.,  
Хрущинский А. А., Кутень С. А.,  
Гацкевич Г. В.

*Институт ядерных проблем БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь*

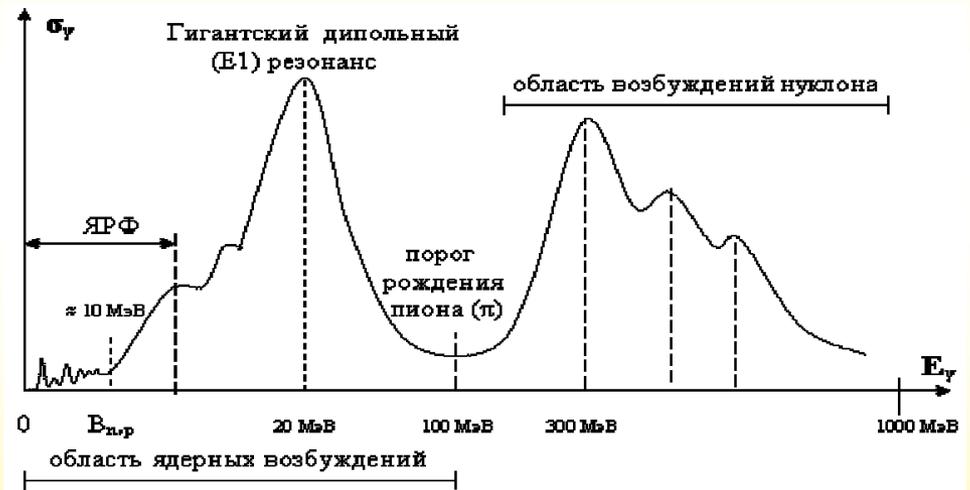
# Введение

- Тормозное излучения, создаваемое линейным ускорителем электронов, используется в лучевой терапии раковых больных.
- При энергии электронов выше 10 МэВ, в поле терапевтического пучка и вокруг ускорителя появляются фотонейтроны.



# Фотонейтроны

- При энергии электромагнитного излучения  $E > 6 \text{ МэВ}$  происходят реакции  $(\gamma, n)$ ,  $(\gamma, xn)$ ,  $(e^-, n)$ ,
- В материалах медицинских ускорителей происходят реакции  $e^- \rightarrow \gamma \rightarrow n$
- Относительная биологическая эффективность нейтронов нейтронного излучения в 5-20 раз больше, чем у тормозного излучения



# Корпус линейного ускорителя в Белорусском Центре Онкологии



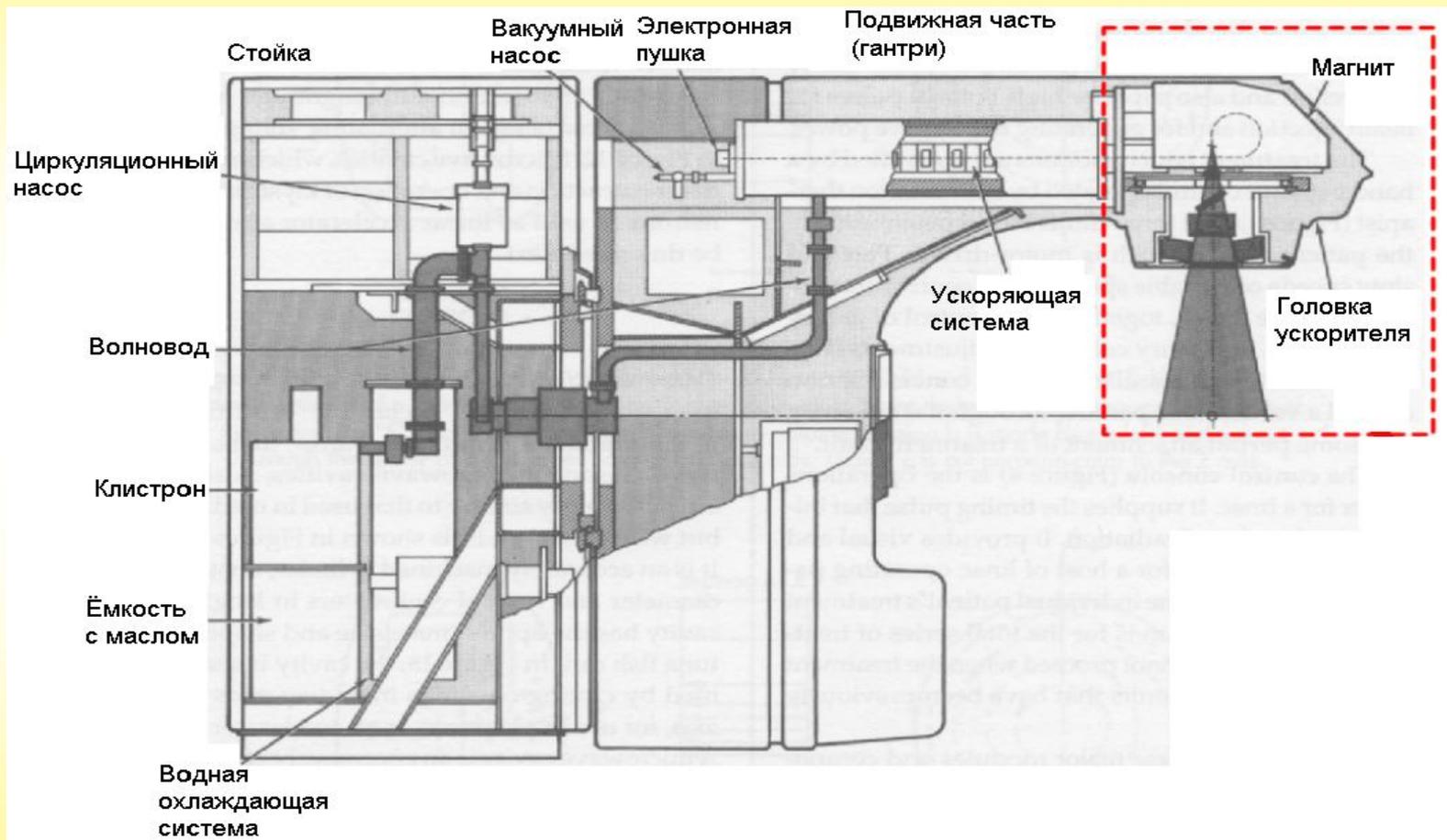
# Цель исследования

Оценить характеристики нейтронного излучения вокруг головки линейного ускорителя Клинак-2300C/D, расположенного в Белорусском республиканском онкологическом центре

## Задачи

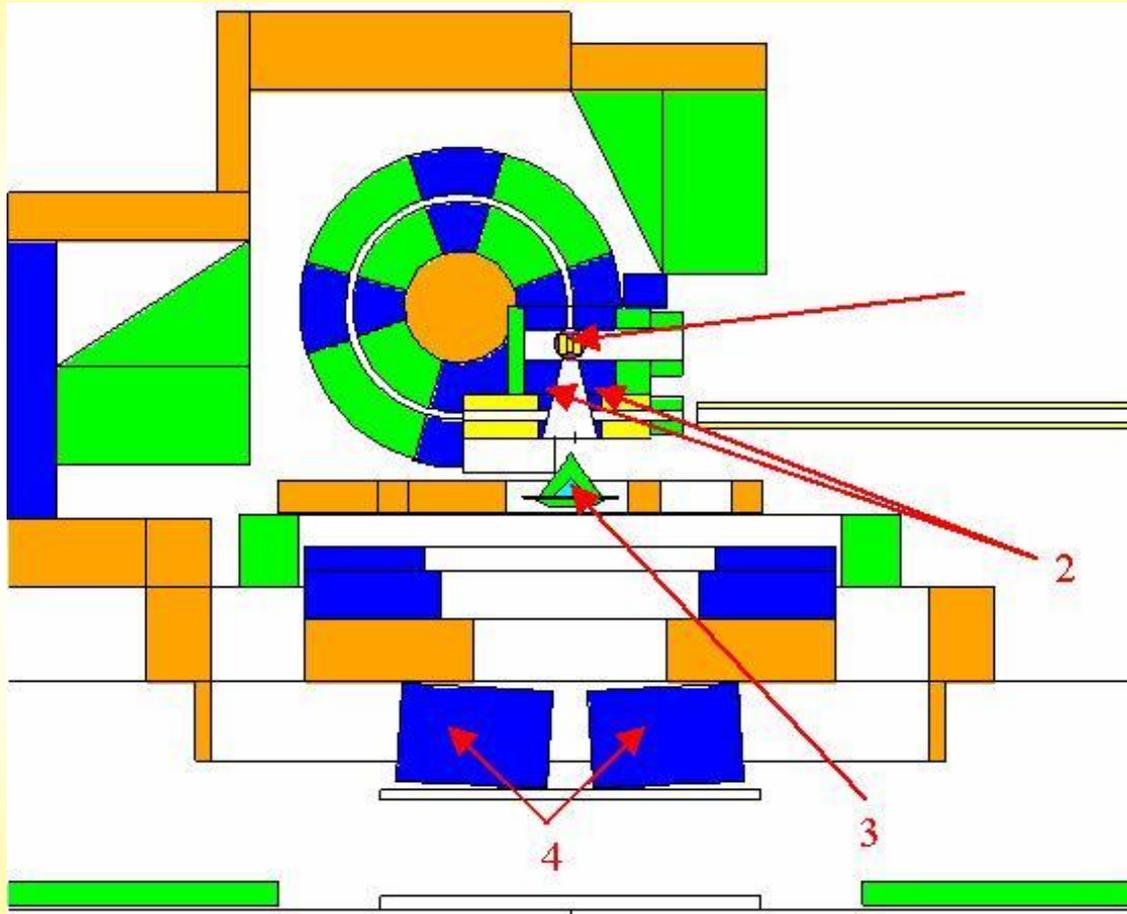
1. Построить Монте-Карло (МК) модели выходной головки медицинского линейного ускорителя электронов на 18 МэВ типа Clinac фирмы Varian
2. Построить МК модели источников фотонов и нейтронов
3. Построить МК модели физической защиты и геометрии облучения персонала
4. Оценить вклады составных частей головки ускорителя в образование фотонейтронов при различной конфигурации поля
5. Оценить флюенс и средние энергии нейтронов в референтных точках вокруг головки ускорителя
6. Исследовать изменение флюенса нейтронов в зависимости от конфигурации поля

# Медицинский линейный ускоритель электронов Varian Clinac 2300 C/D



Номинальные энергии электронов: 6 и 18 МэВ  
Размер поля от  $0,5 \times 0,5 \text{ см}^2$  до  $40 \times 40 \text{ см}^2$

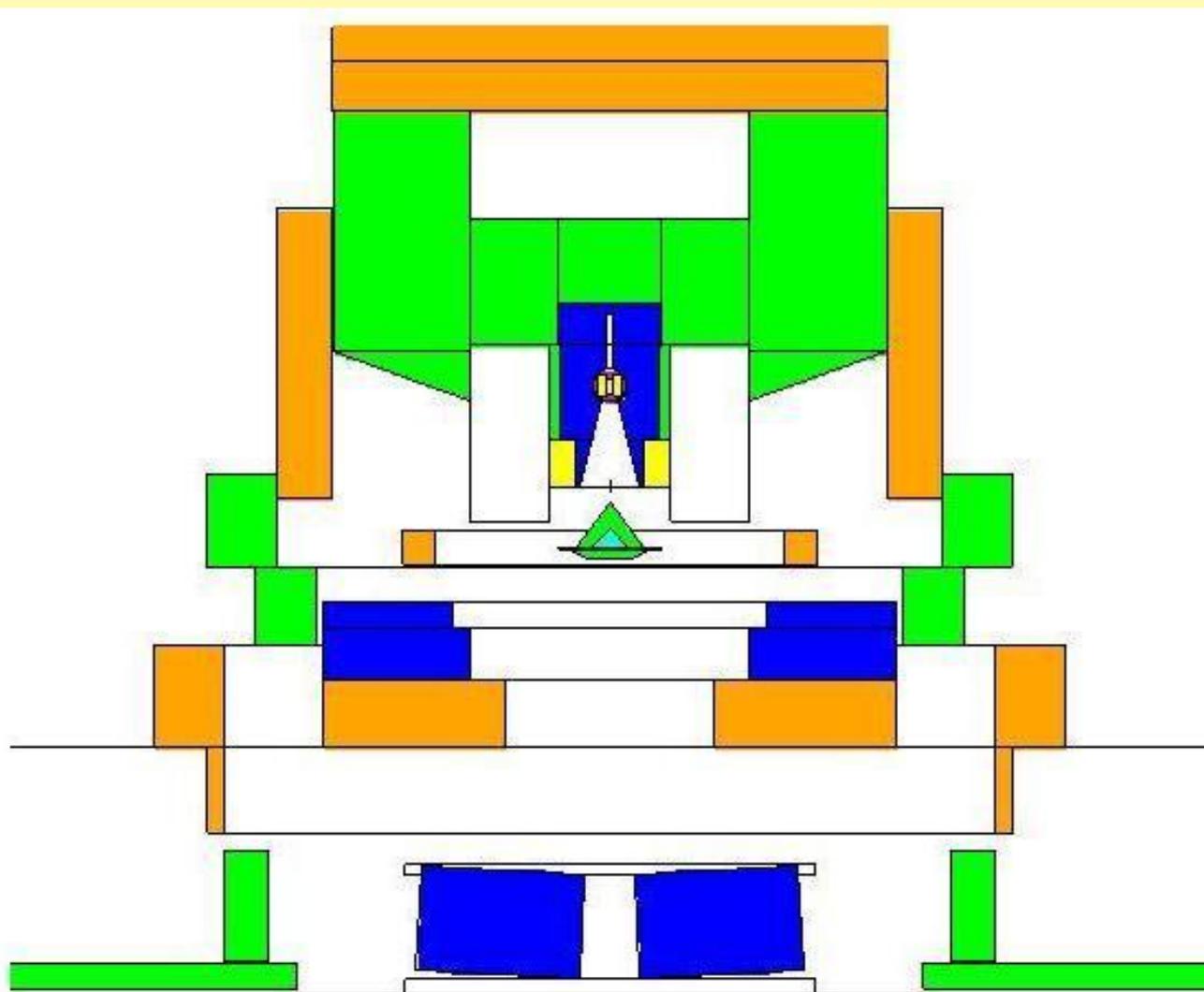
# Модель головки ускорителя



-  - свинец
-  - железо
-  - медь
-  - вольфрам
-  - тантал

- 1 – мишень
- 2 – первичный коллиматор
- 3 – сглаживающий фильтр
- 4 – вторичный коллиматор

# Модель головки ускорителя

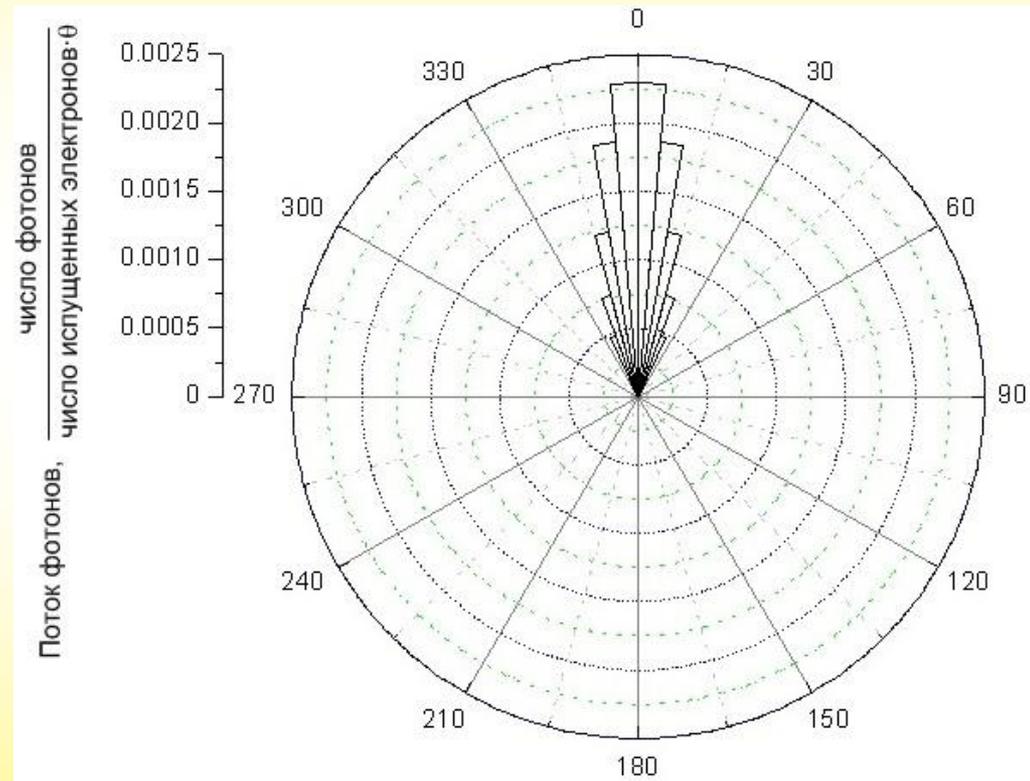
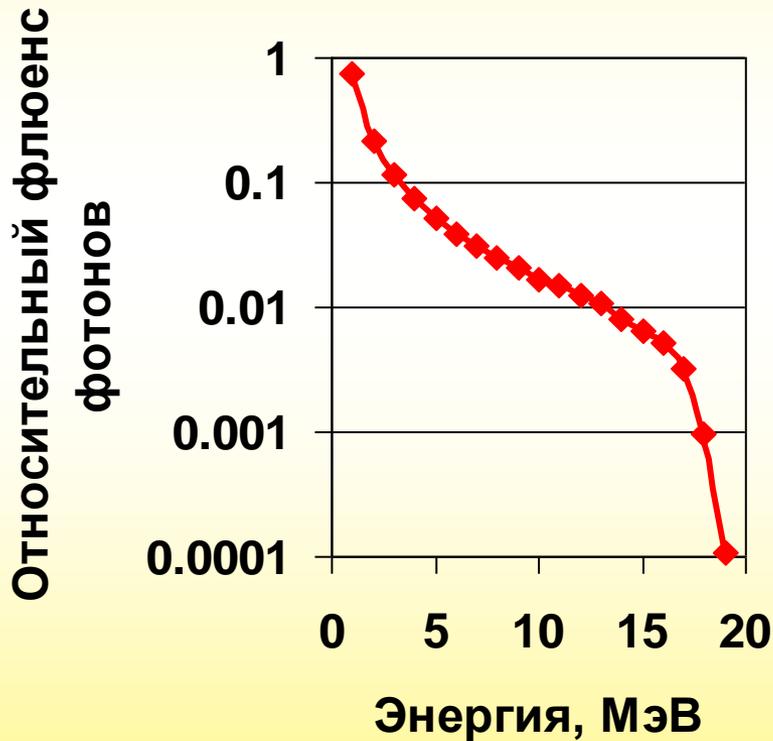


- свинец
- железо
- медь
- вольфрам
- тантал

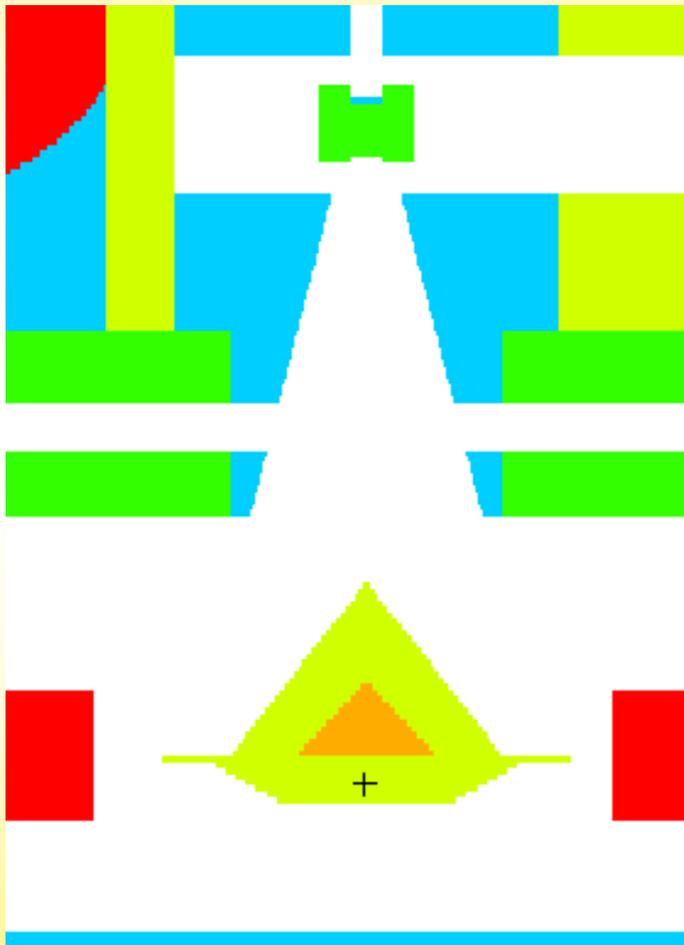
# Исходные данные для построения модели

- Линейные размеры взяты из имеющейся документации на ускоритель
- Моноэнергетический пучок электронов с энергией 18,8 МэВ
- Распределение флюенса электронов на входе в мишень по Гауссу (FWHM=0,1 см)
- Тормозное излучение формируется в вольфрамовой мишени (толщина 0,635 мм, плотность 18 г/см<sup>3</sup>)
- Вторичный коллиматор закрыт (поле 0x0 см)

# Распределение $\gamma$ -квантов (по энергии и в пространстве)



# Относительные вклады нейтронов



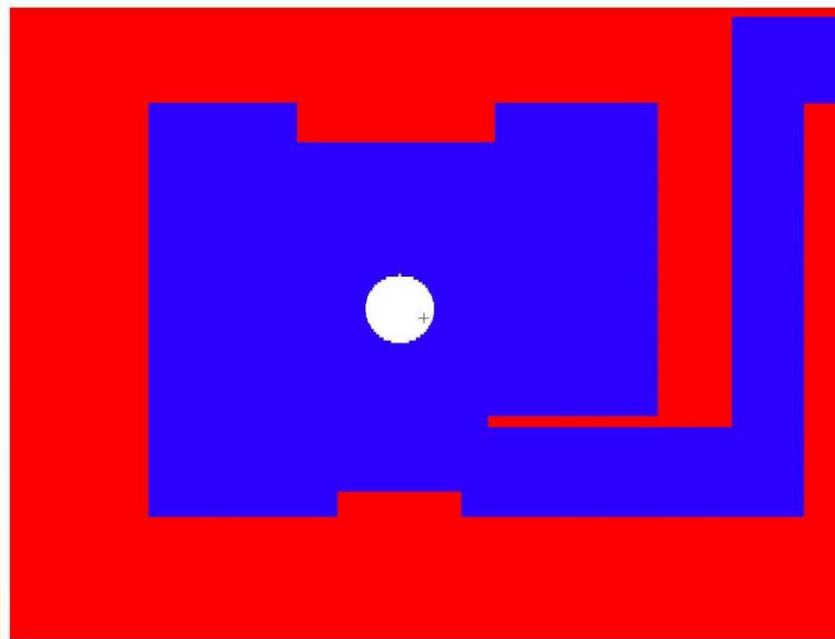
	Вклад нейтронов	Отн. вклад
Мишень	$4,24 \cdot 10^{-5}$	4%
Держатель мишени	$5,88 \cdot 10^{-5}$	5%
Первичный коллиматор	$7,3 \cdot 10^{-4}$	63%
Сглаживающий фильтр	$9,46 \cdot 10^{-5}$	8%
Вторичный коллиматор	$2,26 \cdot 10^{-4}$	20%

# Относительные вклады нейтронов

Поле	Относительный вклад		
	0x0 см	10x10 см	20x20 см
Мишень	3,4%	4%	4%
Держатель мишени	4,7%	5,8%	5%
Первичный коллиматор	63%	71%	75%
Сглаживающий фильтр	8,8%	9%	10%
Верхний вторичный коллиматор	21%	9%	4%
Нижний вторичный коллиматор	0,022%	2%	2%

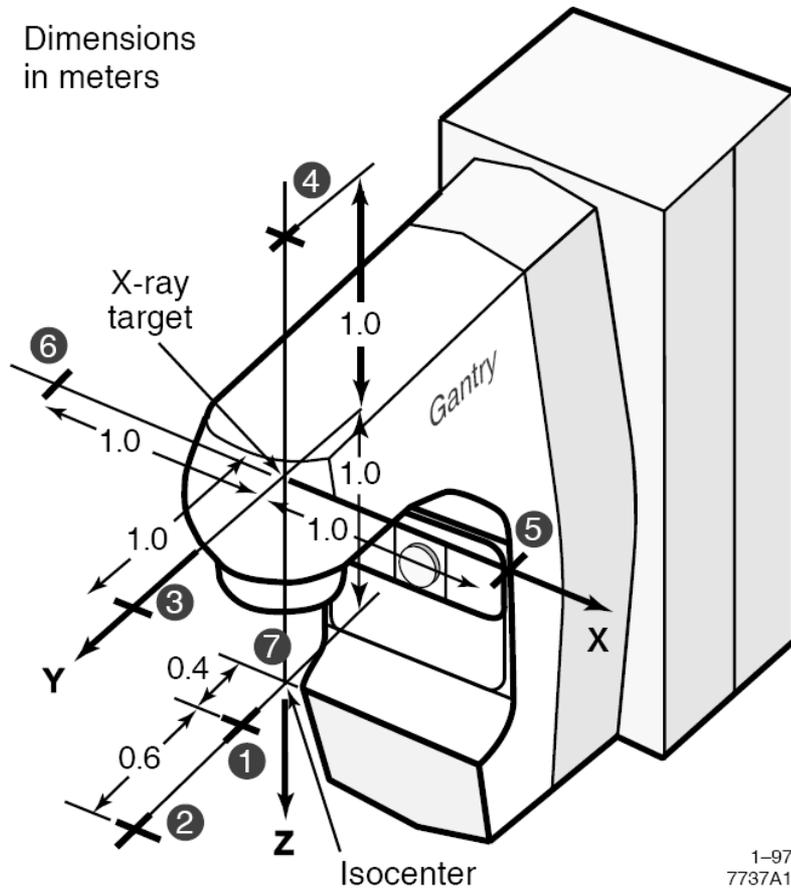
# Источник нейтронов

- Рассчитан эффективный источник нейтронов, исходящих из материалов головки ускорителя



# Поток нейтронов в точках около ГОЛОВКИ

Dimensions  
in meters



Точка	X, м	Y, м	Z, м
1	0	0,4	1
2	0	1	1
3	0	1	0
4	0	0	-1
5	1	0	0
6	-1	0	0
7	0	0	1

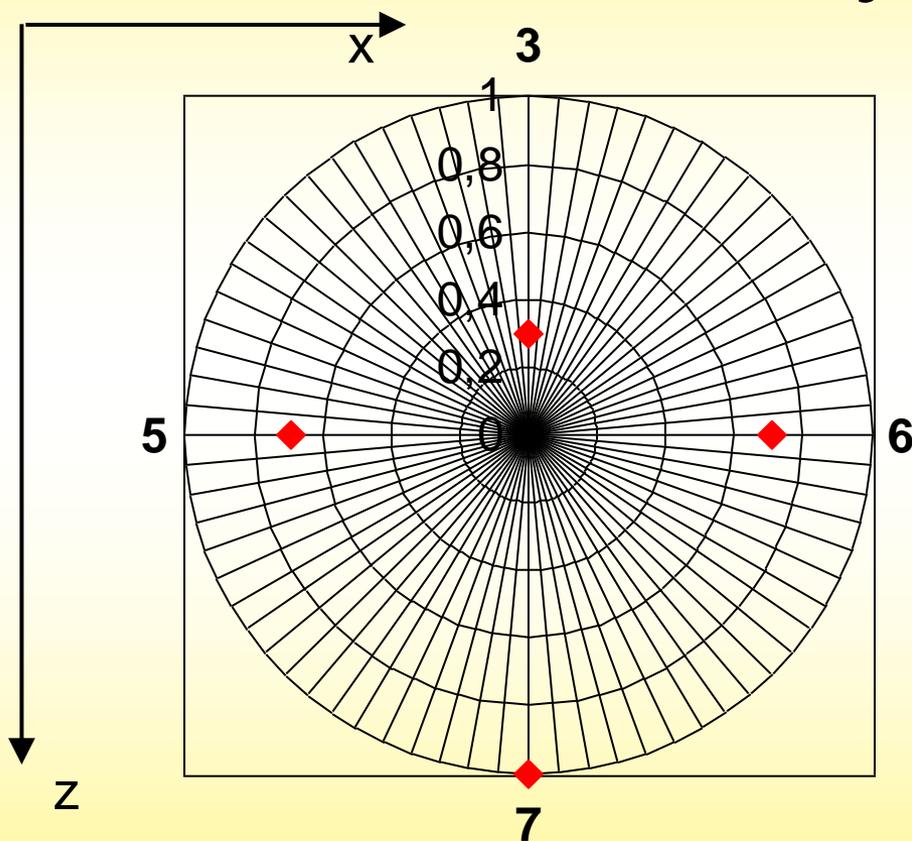
# Флюенс нейтронов вокруг головки ускорителя

Поле излучения 10x10 см в плоскости изоцентра

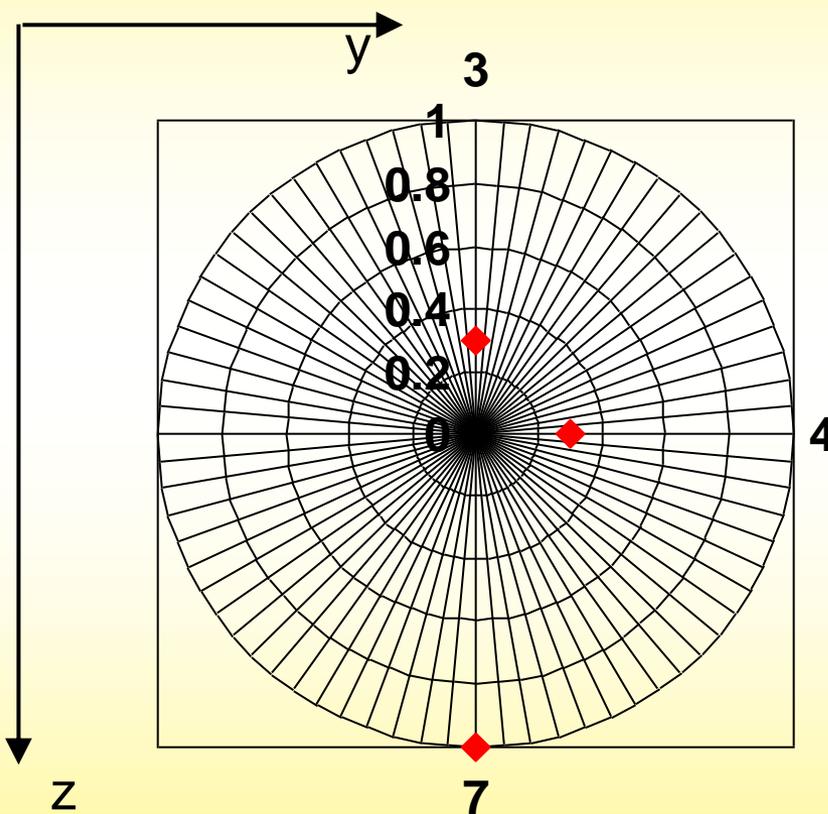
Точка	Относительный флюенс нейтронов	Средняя энергия, МэВ
1	0,66	0,30
2	0,25	0,32
3	0,25	0,23
4	0,30	0,28
5	0,71	0,35
6	0,69	0,34

Значение флюенса нейтронов в изоцентре (точка 7) -  $1,86 \cdot 10^{-8}$  н/см<sup>2</sup>/электрон

# Относительное распределение флюенса нейтронов вокруг головки ускорителя

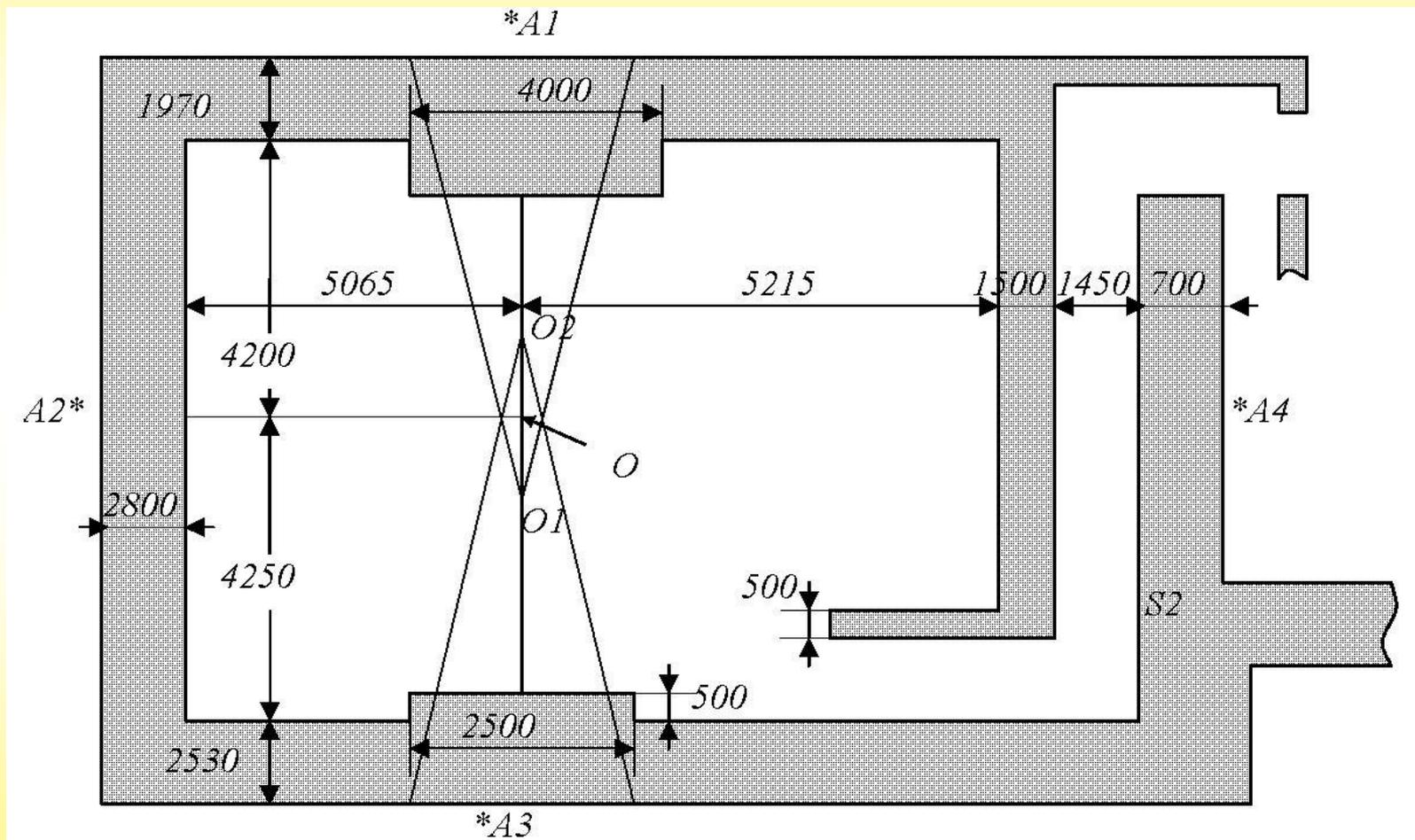


Поперечная плоскость

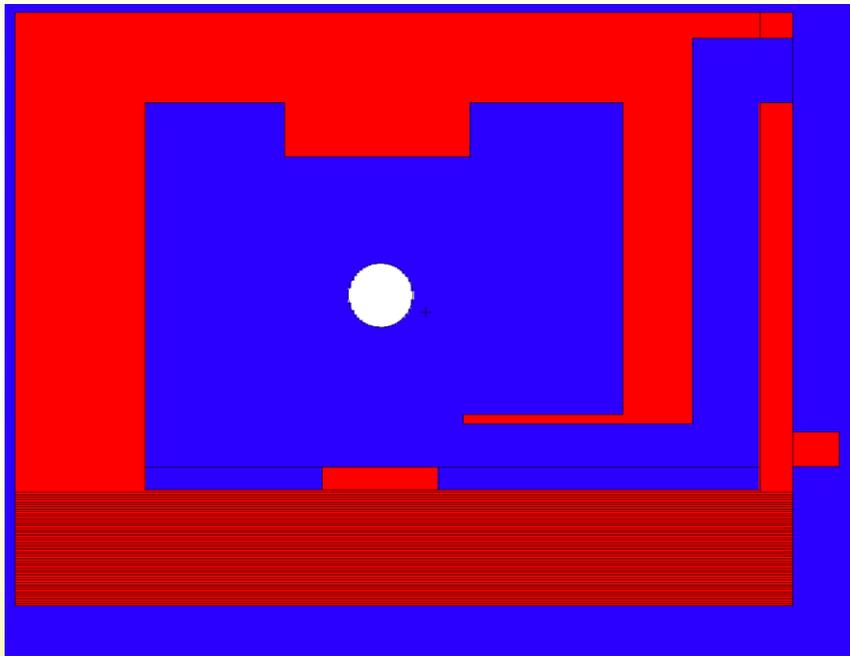


Фронтальная плоскость

# Точки, в которых необходимо рассчитать характеристики поля нейтронов



# Поток нейтронов за стеной



Энергия нейтронов, МэВ	Поток нейтронов за стеной, н/см <sup>2</sup> /испущенный е
0,1	$1,6 \cdot 10^{-20}$
1	$2,4 \cdot 10^{-20}$
10	$1,6 \cdot 10^{-14}$

# Дальнейшая работа

- Исследование поля нейтронов возле стены помещения ускорителя
- Расчет эффективной дозы облучения от нейтронов на персонал для линейного ускорителя Clinac 2300 РНПЦ ОМР (Боровляны)

**Благодарю за внимание!**