



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Результаты численного моделирования переноса рентгеновского излучения в сферическом боксе-конверторе по программе ТИГР

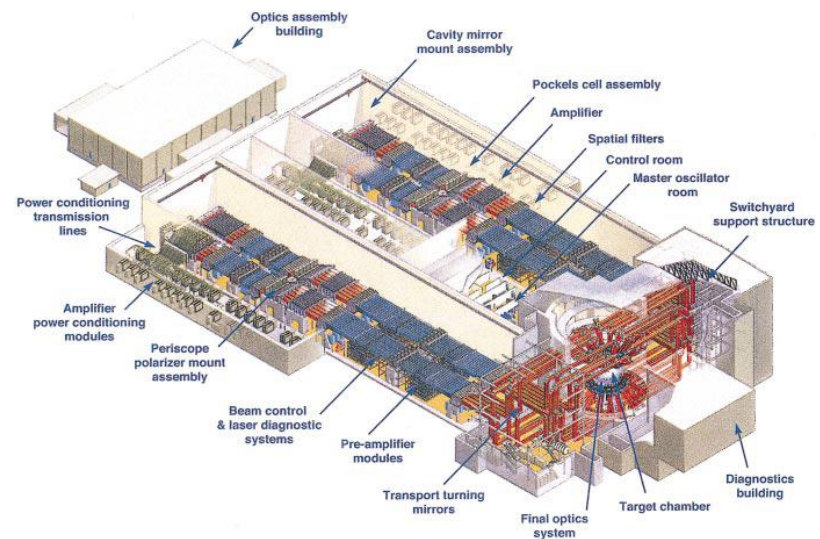
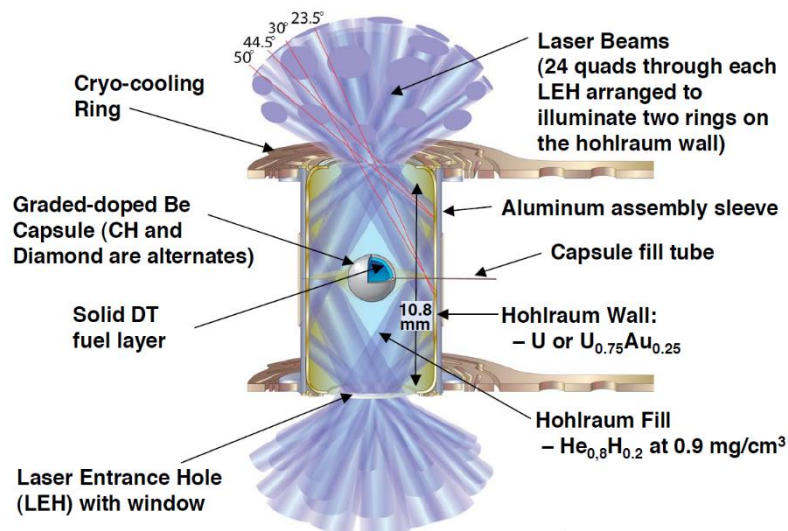
XVII Забабахинские научные чтения, Снежинск, 2025

Чубарешко Илья Сергеевич, Лыков В.А., Шестаков А.А.

Введение

Во всем мире ведутся работы по развитию технологии расчетов мишеней инерциального термоядерного синтеза (ИТС) для более качественной постановки экспериментов на мощных лазерных установках.

Облучение мишеней:	Лазерные установки:	Форма бокса:
<ul style="list-style-type: none">• прямое;• не прямое.	<ul style="list-style-type: none">• OMEGA (США);• NIF (США);• Shenguang-III (Китай);• LMJ (Франция).	<ul style="list-style-type: none">• цилиндрическая;• сферическая;• «регби».

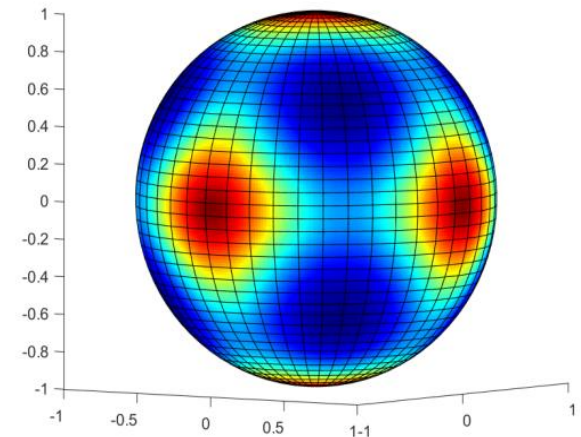
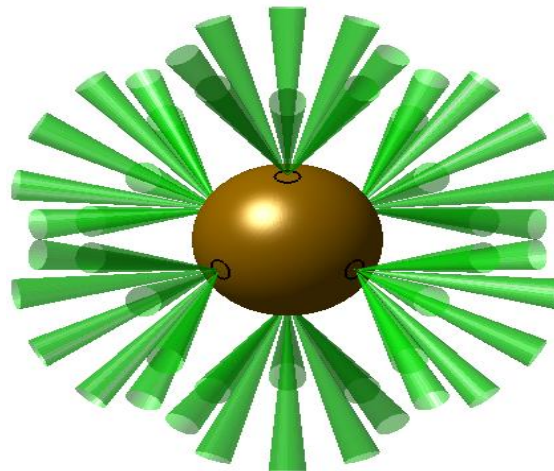
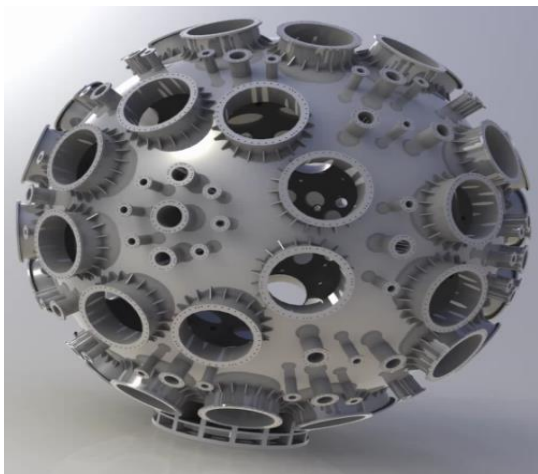


Введение

1. Бисярин А.Ю., Грибов В.М., Зубов А.Д., Неуважаев В.Е., Первиненко Н.В., Фролов В.Д. Комплекс ТИГР для расчета двумерных задач математической физики // ВАНТ сер. Методики и программы численного решения задач мат. физики. 1984. Вып.3. С. 34-41.
2. Гаджиев А.Д., Селезнев В.Н., Шестаков А.А. DSn-метод с искусственной диссипацией и ВДМ-метод ускорения итераций для численного решения двумерного уравнения переноса теплового излучения в кинетической модели // ВАНТ сер. Методики и программы численного решения задач мат. физики. 2003, в.4, с.33-46.
3. Вронский А.В., Чубарешко И.С., Шестаков А.А. Моделирование переноса и поглощения лазерного излучения в мишенях ИТС с непрямым воздействием // ВАНТ сер. Мат. мод. физ. процессов, 2022, в.1, с.3-16.
4. Лыков В.А., Лягина Е.Л., Шестаков А.А. Влияние спектральных эффектов переноса излучения в различных приближениях на развитие коротковолновых возмущений в оболочечных мишенях непрямого облучения для мегаджоульных лазерных установок // ВАНТ сер. Мат. мод. физ. процессов. 2021. Вып. 1. С. 17-28.

Цели и задачи работы

- Провести численные расчеты поля теплового рентгеновского излучения внутри бокса с круговыми конверторами, нагреваемыми снаружи лазерными пучками мегаджоульной установки.



Моделируемые процессы

- газодинамическое движение;
- перенос рентгеновского излучения в сером и групповом кинетическом приближениях;
- поглощение лазерного излучения.



Учёт энерговыведения от лазерного источника

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\rho}{c} \frac{d}{dt} \left(\frac{I_\nu}{\rho} \right) + \vec{\Omega} \nabla I_\nu + \alpha_\nu I_\nu = \frac{\alpha_{cv}}{4\pi} B_\nu + \frac{\alpha_s}{4\pi} U_\nu \\ \rho \frac{dE}{dt} = \sum_{g=1}^G \alpha_{cg} (U_g - B_g) \Delta \varepsilon_g + \rho Q_{laser} \end{array} \right.$$

$I_\nu(\vec{r}, \vec{\Omega}, \nu, t)$ – спектральная интенсивность излучения

$B_\nu(T, \nu)$ – интенсивность равновесного излучения

$U_\nu = \int_{\vec{\Omega}} I_\nu d\vec{\Omega}$ – спектральная плотность энергии излучения

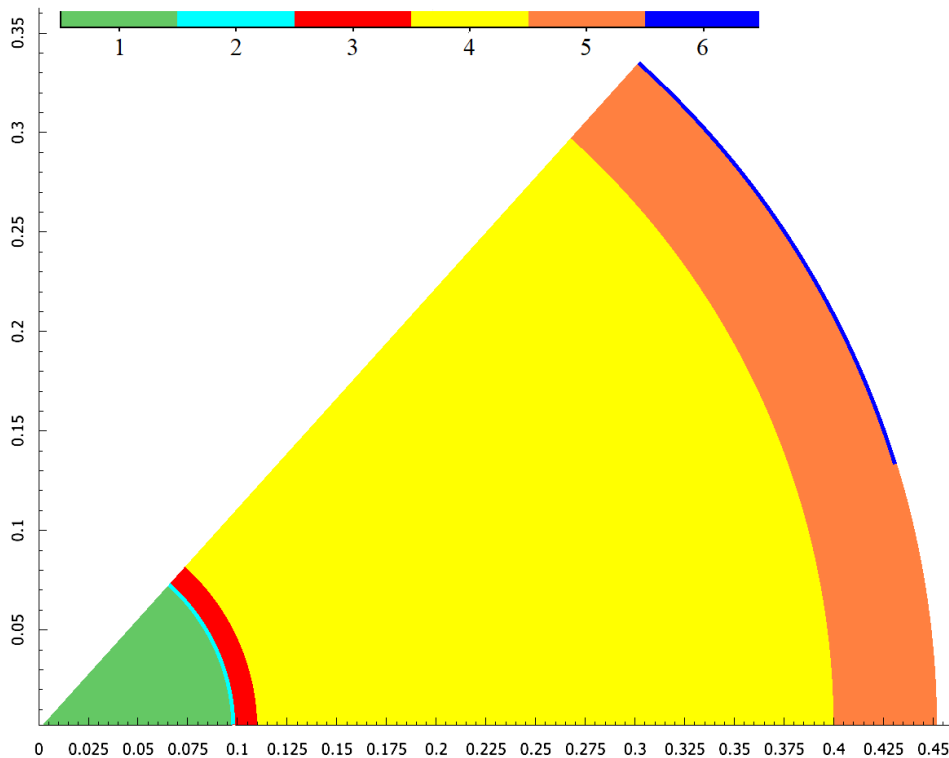
E – внутренняя энергия вещества

Q_{laser} – энерговыведение от лазерного источника

Постановка задачи



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ



Параметры системы

Обл.	Ri (см)	В.-во	<A>	<Z>	ρ , г/см ³
1	0,097	DT	2,5	1	0,03
2	0,099	Al	27	13	2,7
3	0,110	Al	27	13	2,7
4	0,400	He4	4	2	4·10 ⁻⁴
5	0,450	U	238	50	0,035
6	0,452	Au	179	50	19,3

Параметры лазерных пучков

Доля P(t)	1/6
Θ_{RAY}	0,0°
α_{max}	4,0°
r_f (мм)	0,0
z_f (мм)	0,45
R (мм)	0,12

Рисунок 1 - геометрия задачи

Зависимость лазерной мощности от времени

t	0	0,01	0,05	0,06
P(t)	0,0	5,0	5,0	0,0

Численные расчёты. Вариант 1.

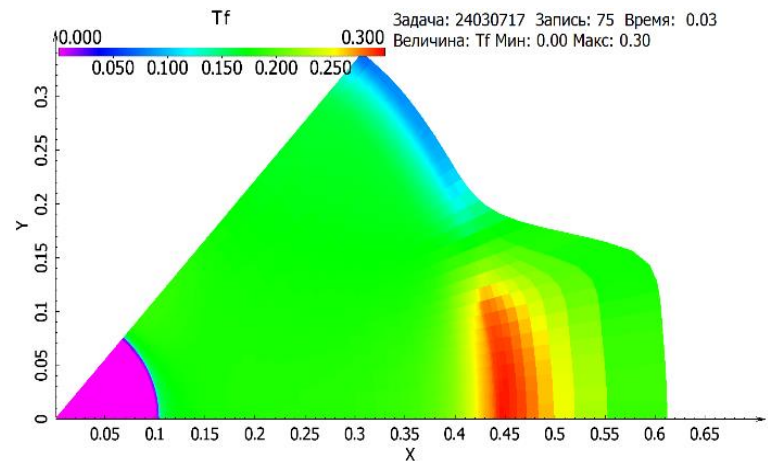
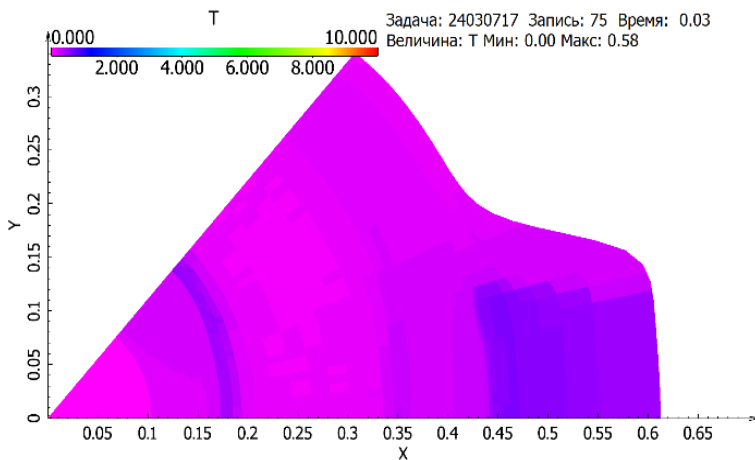
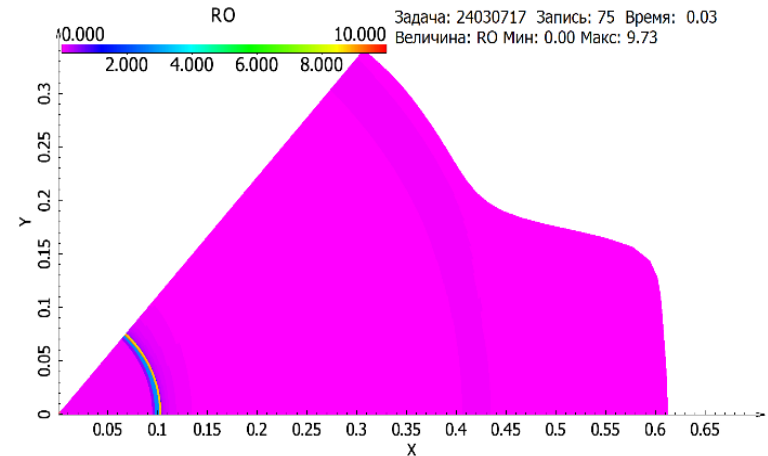
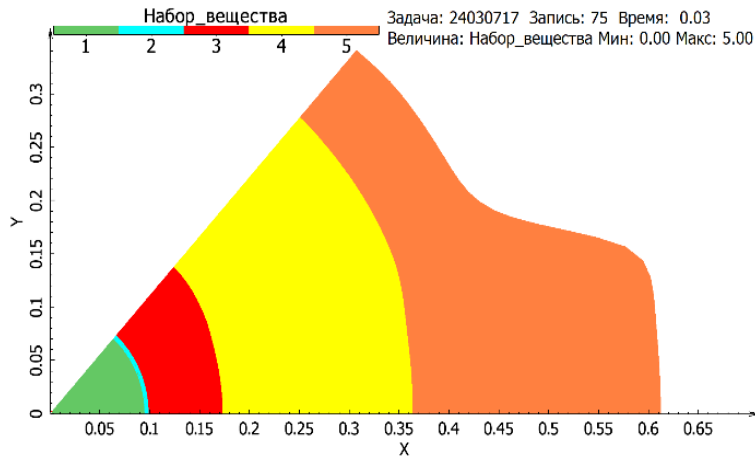


Рисунок 2 – распределение веществ, плотности, температуры вещества, 7
температуры излучения

Численные расчёты. Вариант 2.

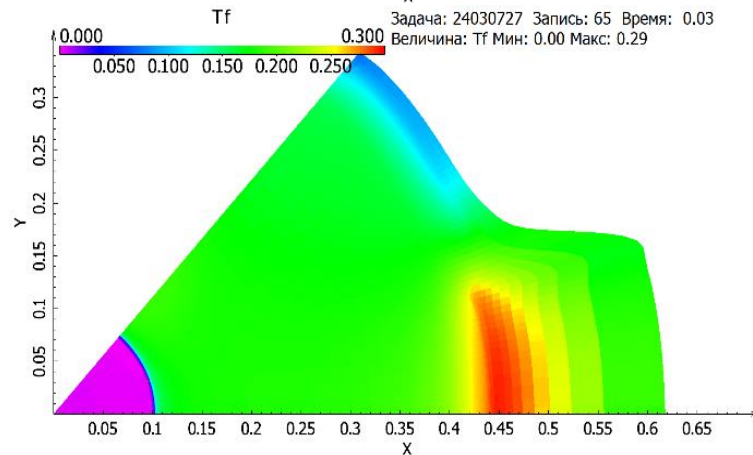
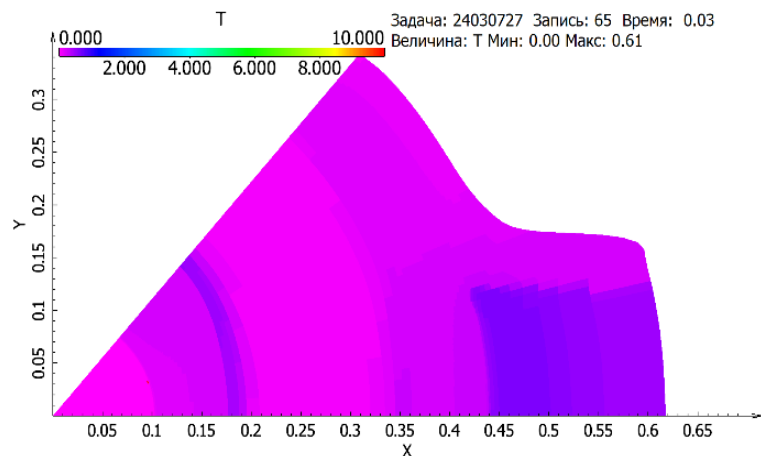
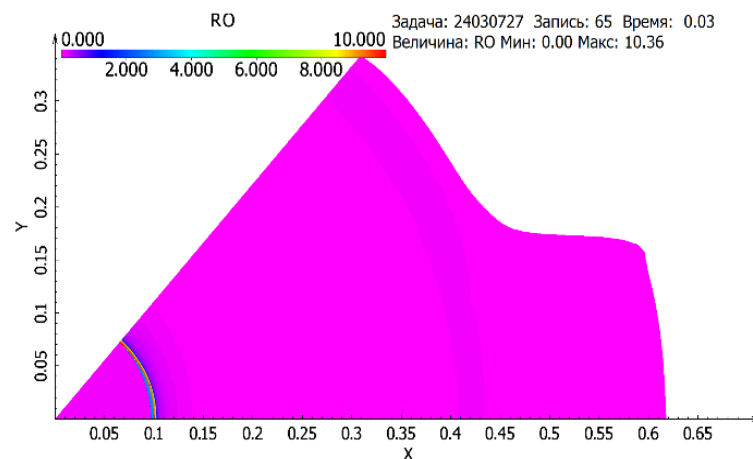
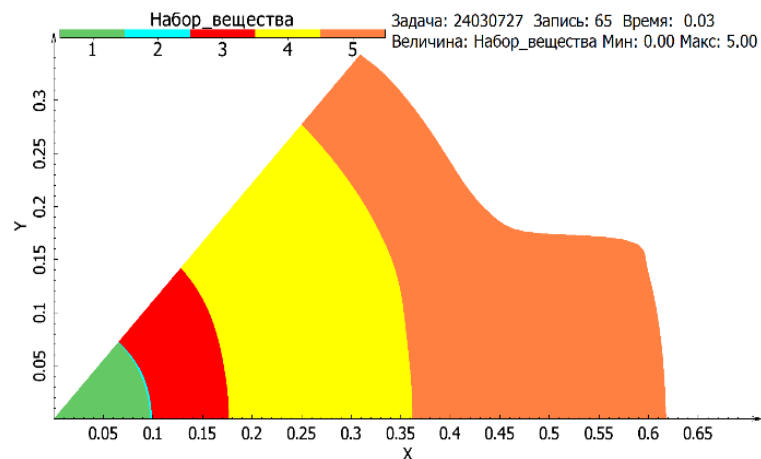


Рисунок 3 – распределение веществ, плотности, температуры вещества, 8
температуры излучения

Численные расчёты. Вариант 3.

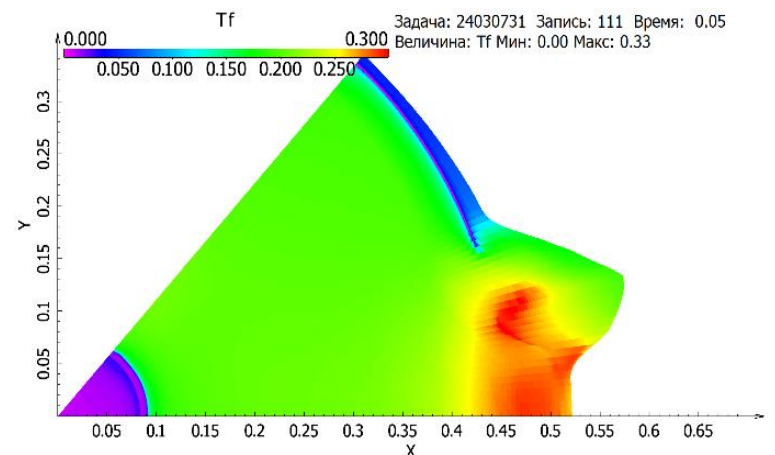
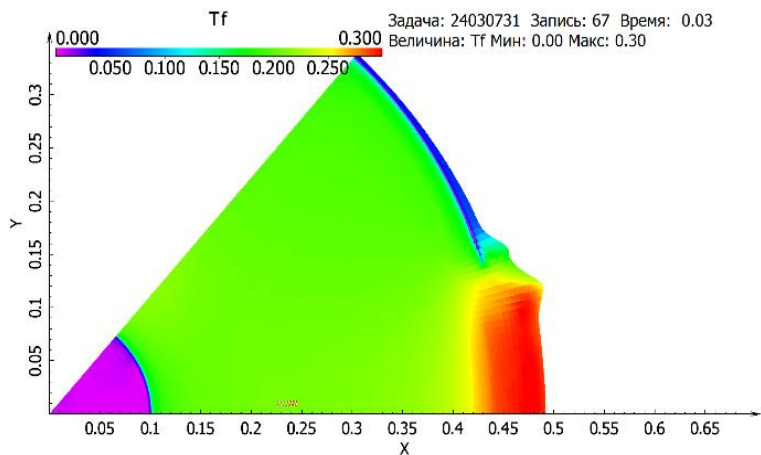
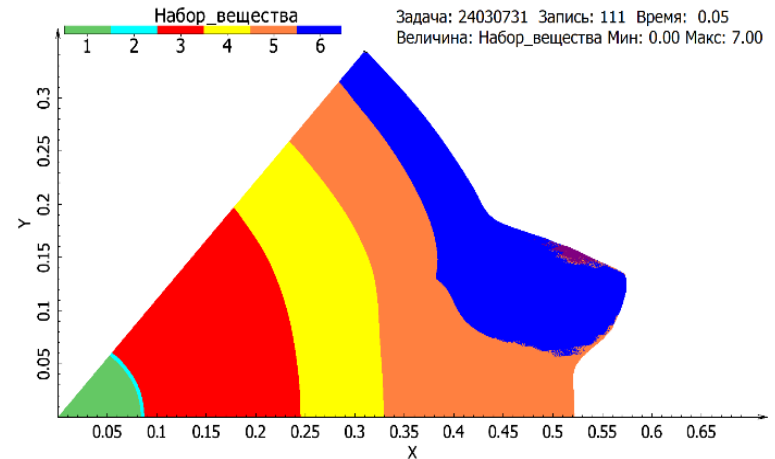
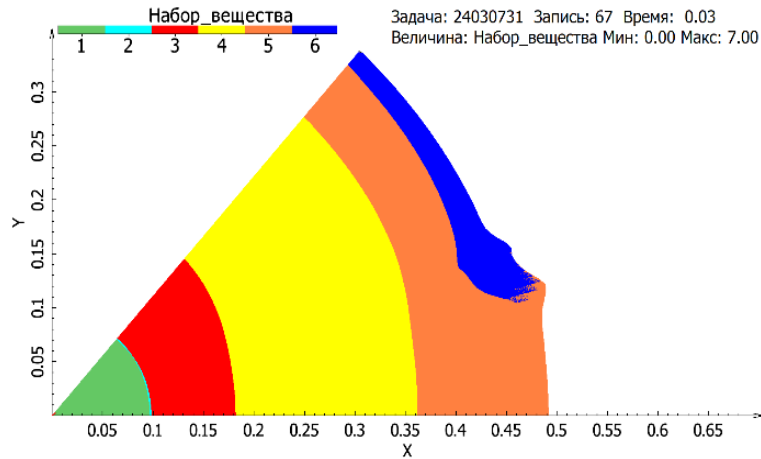
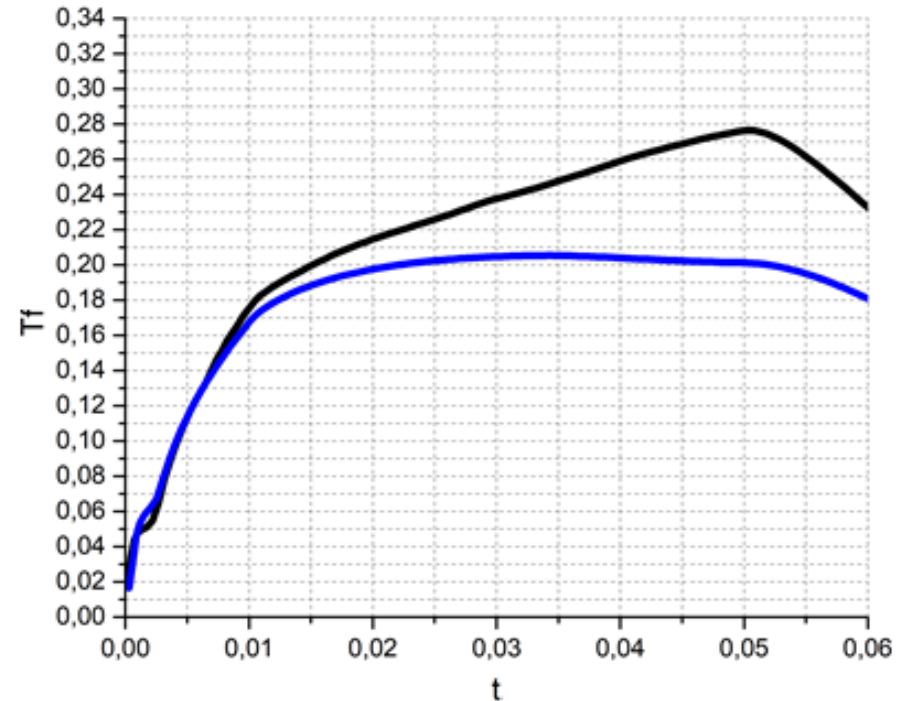
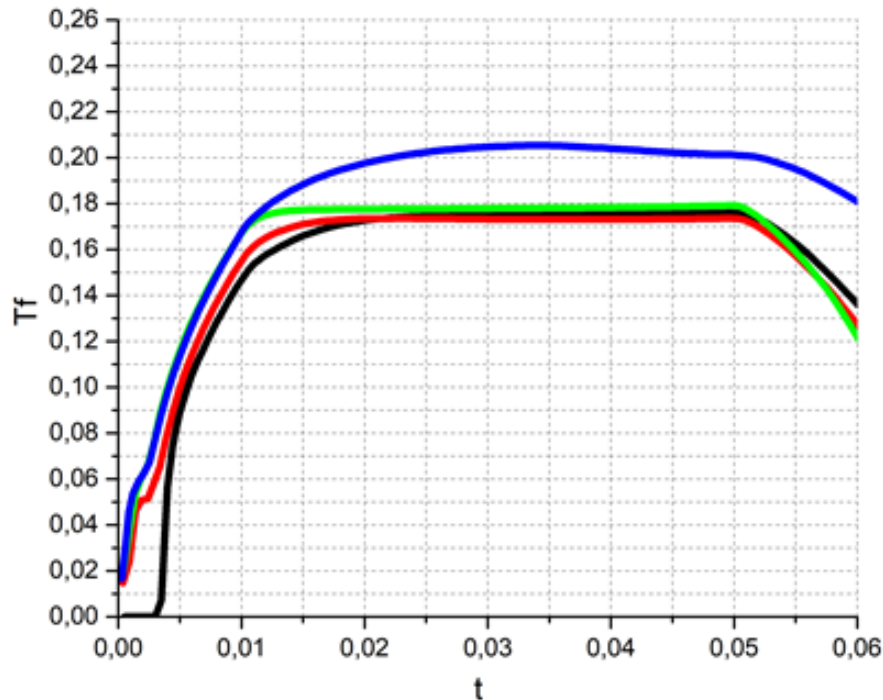


Рисунок 4 – распределение веществ и температуры излучения на два показательных момента времени

Результаты расчетов



Рисунки 5 и 6 – зависимость средней температуры излучения от времени в области с газом He_4 .

Рисунок 5 (левый): черный цвет – вариант 1, красный цвет – вариант 2, зелёный цвет – вариант 2.1, синий цвет – вариант 3.

Рисунок 6 (правый): синий цвет – $R=0.12$, черный цвет – $R=0.08$.

Выводы

- Проведено моделирование системы конвертор-мишень по комплексу БТ-ТОМ с учетом двумерного газодинамического движения и переноса рентгеновского излучения в кинетическом приближении с использованием модели поглощения лазерного излучения.
- Проведено исследование влияния золотой оболочки на температуру излучения внутри бокса.
- Проведены расчеты с разной плотностью урановой пены, для повышения температуры излучения внутри бокса.
- Из расчётов задачи видно, что испаренная зона золота перекрывает часть лазерного пучка, поэтому в бокс заходит недостаточно лазерной энергии, чтобы температура излучения в газе He_4 достигла “желаемых” значений.
- Проведен расчёт с уменьшенным радиусом фокального пятна лазерного пучка, что позволило не перегревать торцевую стенку золотой оболочки, и тем самым на протяжении всего времени счёта задачи испаренная часть золота не перекрывала лазерный пучок. Вся заданная энергия лазерного излучения попала внутрь бокса, и температура излучения в газе He_4 достигла значений 0,28-0,29 кэВ

Спасибо за внимание

Чубарешко Илья Сергеевич

XVI Забабахинские научные чтения, Снежинск, 2025

