



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

50 лет задачам Флека

Fleck J.A., Cummings J.D.

*An Implicit Monte Carlo Scheme for
Calculating Time and Frequency
Dependent Nonlinear Radiation
Transport. J. of Comput. Phys., 1971, v.8,
p.313-342*



7 достоинств задач Флека

1. это тесты для задач из области высокотемпературных явлений (на границе задается $T=1$ кэВ - $11\,600\,000^{\circ}\text{K}$);
2. простота постановки граничных и начальных условий, что позволяет считать эти задачи в различных приближениях и геометриях;
3. простые аналитические формулы для спектральных пробегов;
4. широкий диапазон изменения спектрального коэффициента поглощения;
5. моделирование разрывов 1 и 2 рода по температуре вещества при разрывном по пространству коэффициенте поглощения;
6. моделирование разрывов по энергетическому спектру коэффициента поглощения;
7. простейшее уравнение состояния идеального газа.

Система уравнений переноса теплового излучения



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Кинетическое приближение

$$\frac{1}{c} \frac{\partial I_\nu}{\partial t} + \vec{\Omega} \nabla I_\nu + (\alpha_{c\nu} + \alpha_{s\nu}) I_\nu = \frac{1}{4\pi} (\alpha_{c\nu} B_\nu + \alpha_{s\nu} U_\nu)$$

Квазидиффузионное, диффузионное и P1 приближения

$$\frac{1}{c} \frac{\partial U_\nu}{\partial t} + \text{div} \vec{S}_\nu + \alpha_{c\nu} U_\nu = \alpha_{c\nu} B_\nu,$$

$$\frac{\beta}{c} \frac{\partial \vec{S}_\nu}{\partial t} + \nabla (D_\nu U_\nu) + \alpha_\nu \vec{S}_\nu = 0$$

Уравнение энергии

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \int_0^\infty \alpha_{c\nu} (U_\nu - B_\nu) d\nu + Q$$

Постановка задач Флека



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

$$E = 0.81T, \rho = 1$$

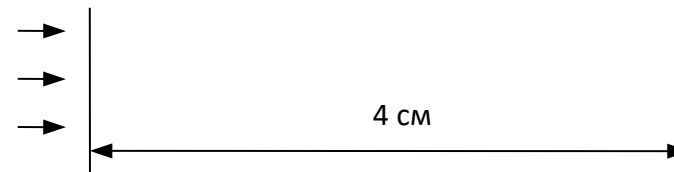
Задача 1 $\sigma_\varepsilon = \frac{27}{\varepsilon^3}(1 - e^{-\varepsilon/T})$

Задача 2
$$\sigma_\varepsilon = \begin{cases} \frac{27}{\varepsilon^3}(1 - e^{-\varepsilon/T}), & 0 \leq r \leq 2, \\ \frac{10000}{\varepsilon^3}(1 - e^{-\varepsilon/T}), & 2 < r < 2.4, \\ \frac{27}{\varepsilon^3}(1 - e^{-\varepsilon/T}), & 2.4 \leq r \leq 4 \end{cases}$$

Задача 3
$$\sigma_\varepsilon = \begin{cases} \frac{24}{\varepsilon^3}(1 - e^{-\varepsilon/T}) & \text{для } \varepsilon < 3 \\ \frac{54}{\varepsilon^3}(1 - e^{-\varepsilon/T}) & \text{для } \varepsilon \geq 3 \end{cases}$$

Задача 4 $\sigma_\varepsilon = \frac{27}{\varepsilon^3 T^{3/2}}(1 - e^{-\varepsilon/T})$

T=1кэВ

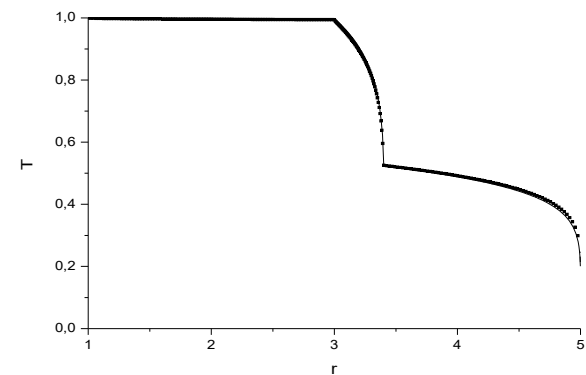
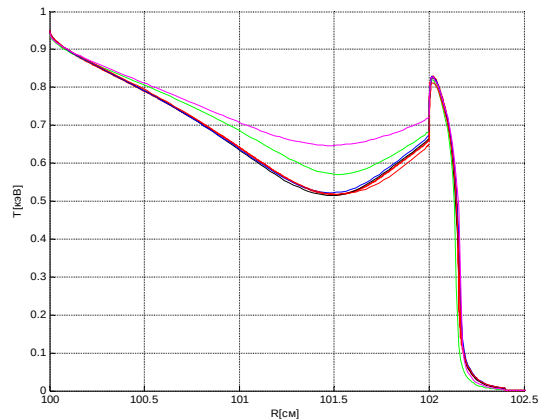


Моделирование разрывных решений



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

1. разрыв спектрального коэффициента поглощения по пространству во 2 задаче Флека;
2. разрыв спектрального коэффициента поглощения по энергетическому спектру в 3 задаче Флека;
3. разрыв по температуре на левой границе в начальный момент времени;
4. разрыв 1 рода по температуре на левой границе плотной области при прогреве во 2 задаче Флека;
5. разрыв 2 рода по температуре на правой границе плотной области во 2 задаче Флека;
6. разрыв 1 рода по температуре на свободной поверхности;
7. изменение производной температуры по пространству от 0 до ∞ .



Варианты задач Флека



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Пятая задача Флека $\sigma_\varepsilon = \frac{270}{\varepsilon^3}(1 - e^{-\varepsilon/T})$

Шестая задача Флека $\sigma_\varepsilon = \frac{2700}{\varepsilon^3}(1 - e^{-\varepsilon/T})$

Седьмая задача Флека (объединяющая 6 вариантов задач Флека):

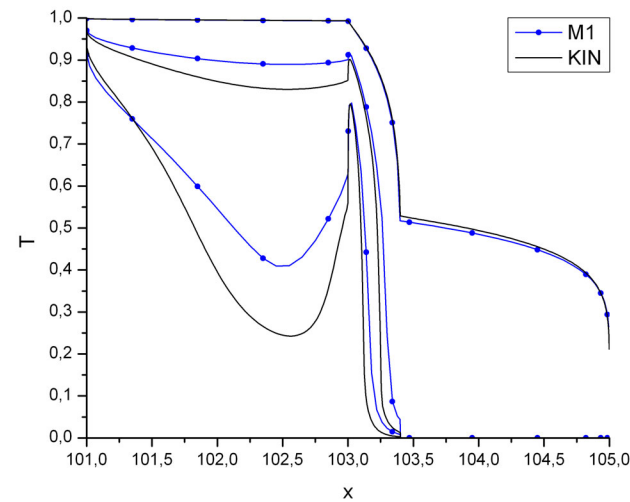
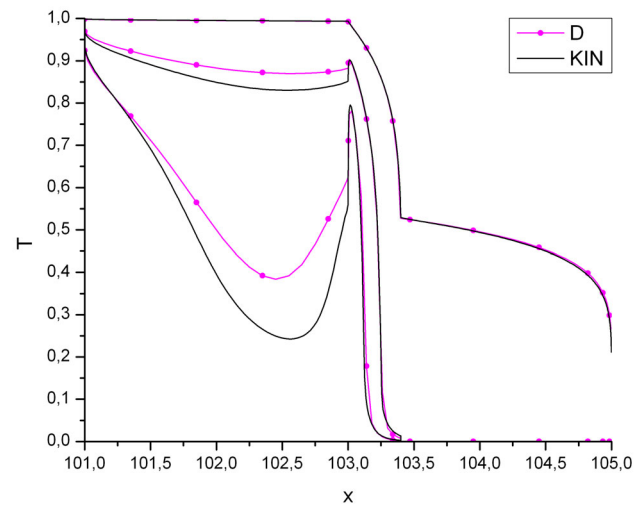
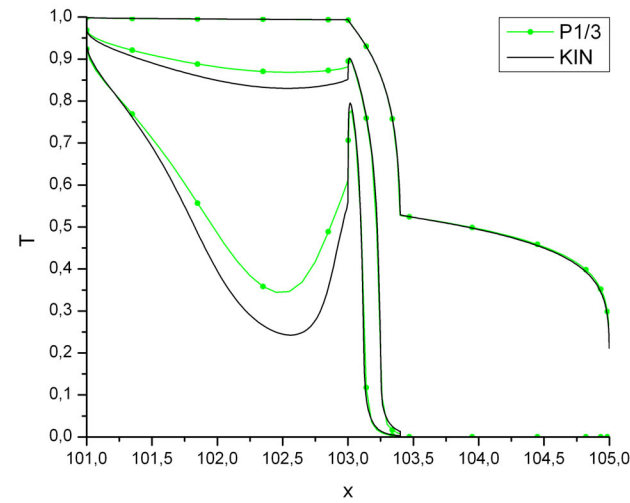
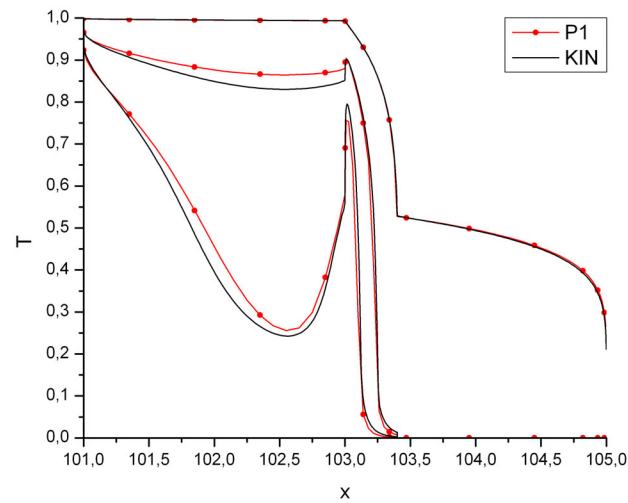
- задача нестационарная с учетом газодинамического движения вещества;
- все области существенно различаются по плотности вещества, причем плотные вещества разделены менее плотными (имитация ‘слойки’);
- все области также различаются по оптической плотности вещества, причем плотные вещества разделены прозрачными;
- во всех областях введено рассеяние;
- во всех областях различная сетка по пространству, причем отношение длин сторон (аспектное число) доходит до 50;
- сетка по углу равномерная, но в 5 области в 2 раза интервалов по углу больше для проверки симметрии при передаче граничных условий на нерегулярной сетке.

Расчеты 2 задачи Флека по D , P_1 , $P_{1/3}$ и M_1 – приближениям

(данные приближения могут давать согласие с кинетическим приближением при значительно меньших затратах и отсутствии лучевого эффекта)



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ



Профили температуры вещества на три момента времени

Упрощенное решение второй задачи Флека



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

$$\kappa_\varepsilon = \begin{cases} \frac{27}{\varepsilon^3}(1 - e^{-\varepsilon/T}), & 1 \leq r \leq 3, \quad 3.4 \leq r \leq 5 \\ \frac{10000}{\varepsilon^3}(1 - e^{-\varepsilon/T}), & 3 < r < 3.4 \end{cases}$$

$$T \approx \sqrt[3]{1 - 0.00659(r - r_0)}$$

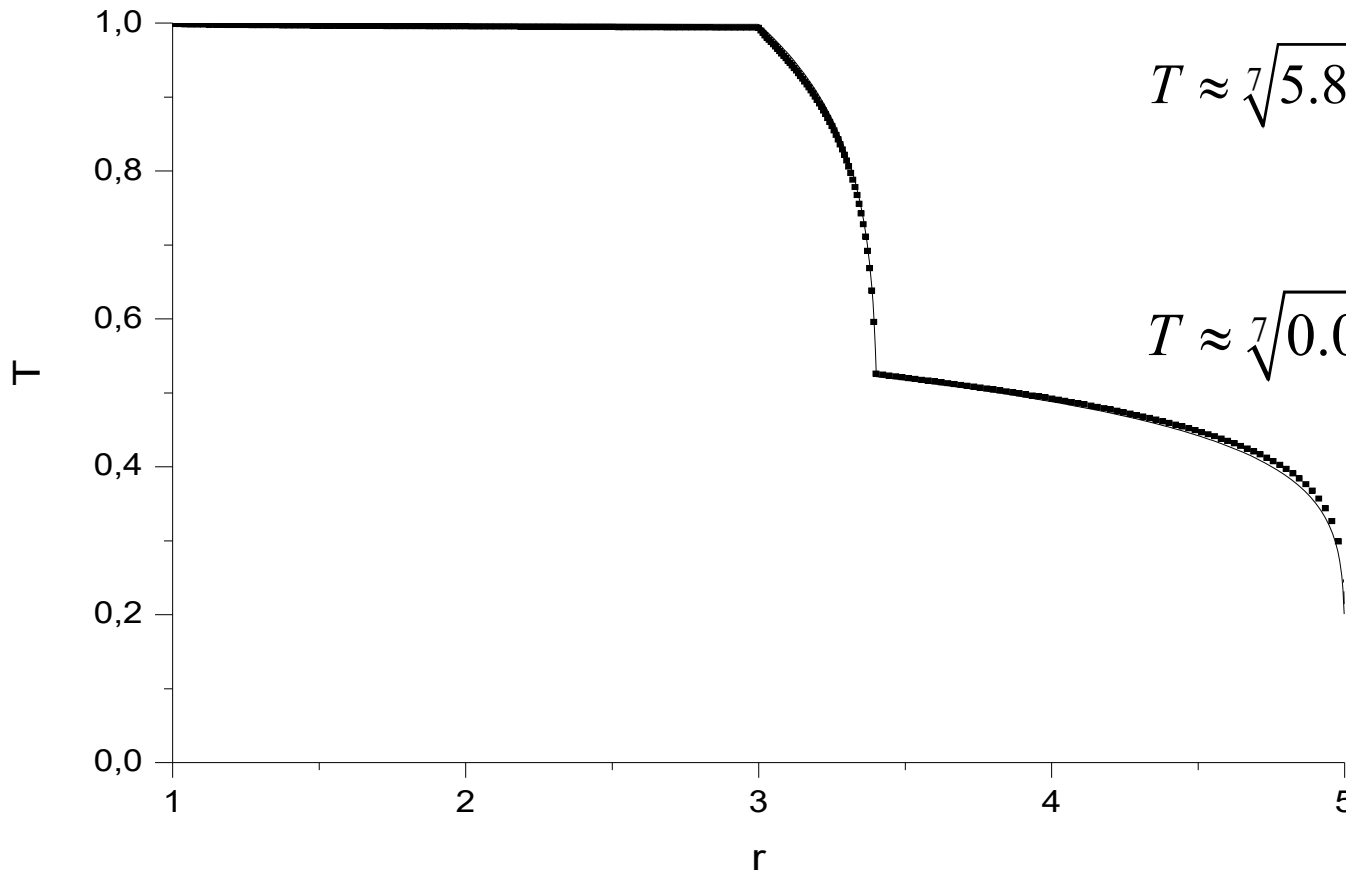
в 1 области

$$T \approx \sqrt[3]{5.8683 - 2.44(r - r_0)}$$

во 2 области

$$T \approx \sqrt[3]{0.00659(4 + r_0 - r)}$$

в 3 области



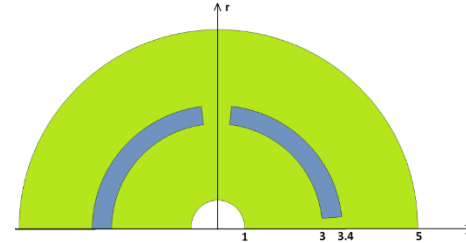
Профили температуры (сплошная линия – точное решение, точками - численное)

Вариант 2 задачи Флека с отверстием и щелью



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

В области $1 \leq R \leq 5$ см моделируется прохождение серого излучения через оптически прозрачные области в плотном слое $3 \leq R \leq 3,4$ см: вертикальную щель и горизонтальное отверстие в сферическом слое.

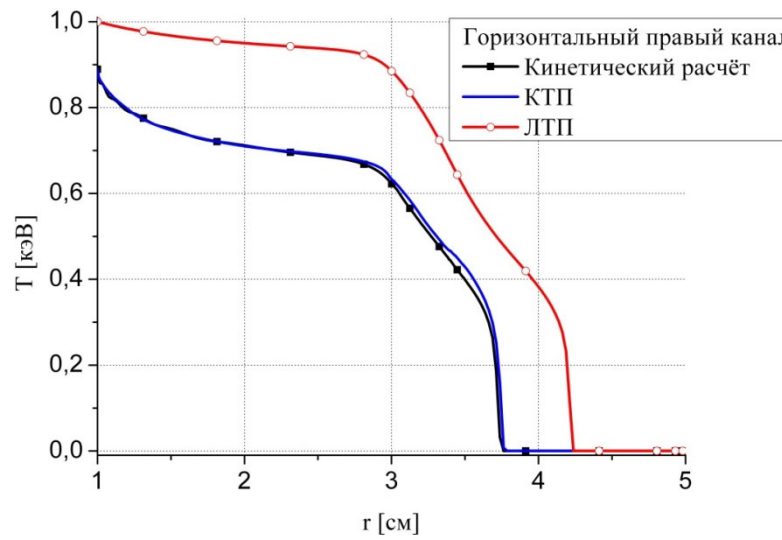
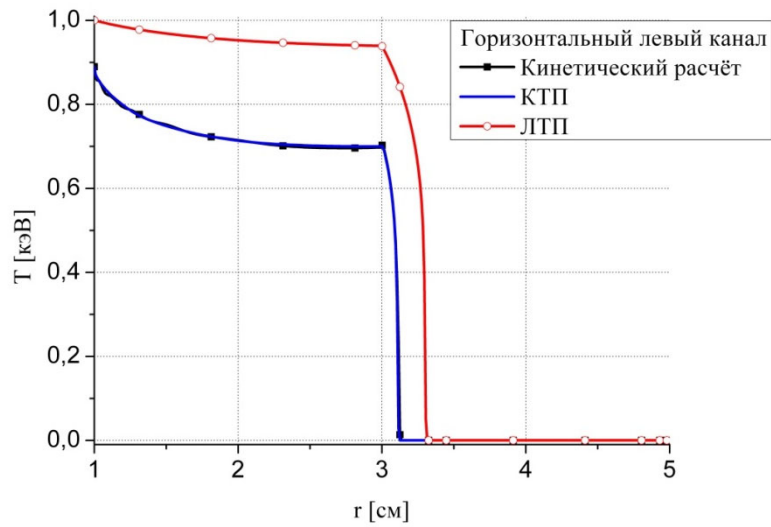
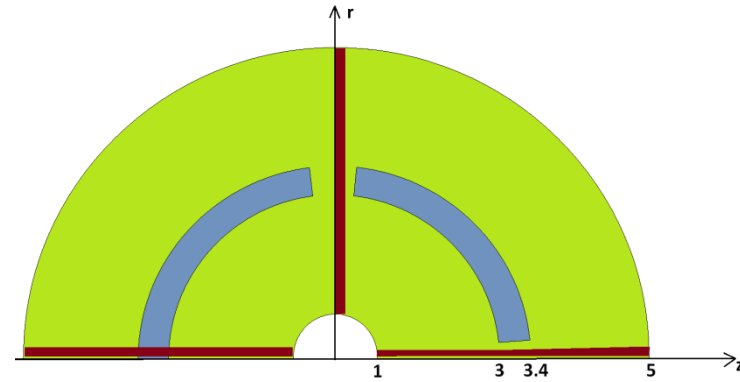
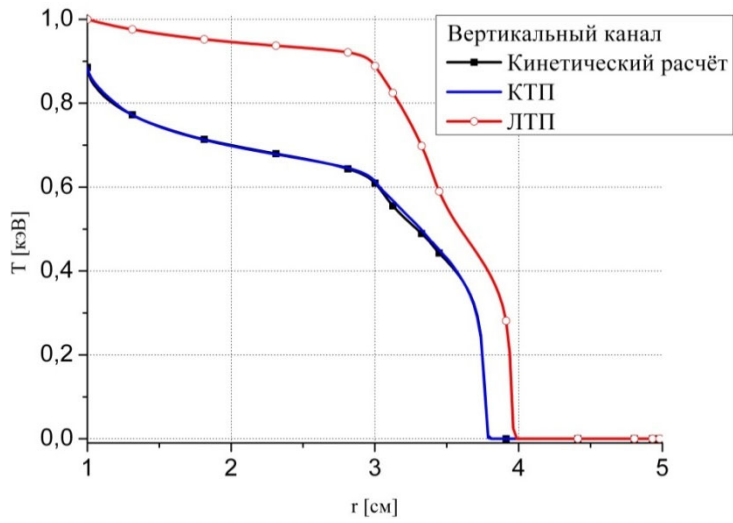


На внутреннем радиусе задан односторонний входящий поток, определяемый по $T=1$ кэВ, на внешнем радиусе – условие свободной поверхности. На остальных границах заданы условия отражения.

$$\alpha_c = \frac{0.0050886}{T^3} K, \quad \begin{matrix} K = 27 \\ K = 10000 \end{matrix}$$

• Приближение	• Время счета 1000 шагов [мин]	• Выходящий интегральный поток излучения (%)
• Кинетический расчёт	• 232	• 333,05
• КТП	• 40	• 330,23 (0.85%)
• ЛТП	• 8	• 373,8 (12.1%)

Вариант 2 задачи Флека с отверстием и щелью



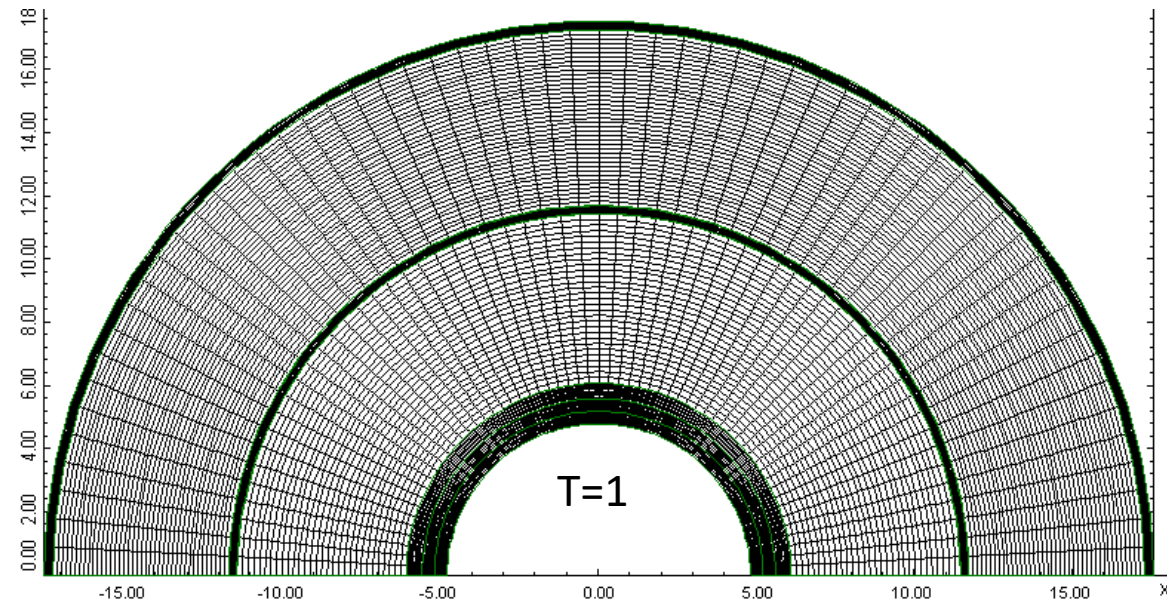
Седьмая задача Флека



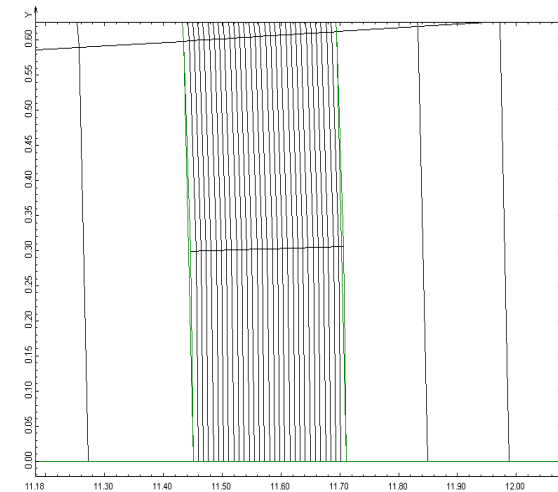
РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

$$E = 0.81T, P = 0.54\rho T.$$

Сетка по радиусу равномерная в каждой области, сетка по углу равномерная – 60 интервалов в каждой области, в 5 области - 120 интервалов. Аспектное число в 5 области равно 50.



№ обл.	1	2	3	4	5	6	7
Плотность	20	1	10	0.1	5	0.01	1
Константа к	2700	27	10000	27	270	24(54)	27
Кэфф. расс.	4	0.2	2	0.02	1	0.002	0.2
Левый рад.	4.8	5.2	5.6	6.09	11.45	11.71	17.26
Правый рад.	5.2	5.6	6.09	11.45	11.71	17.26	17.56
Число ячеек по радиусу	14	12	10	30	30	40	20



Фрагмент сетки 5 области

Профили температуры вещества и фотонов в 7 задаче Флека



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

