



ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

**РАСЧЕТЫ ГЕНЕРАЦИИ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ
РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВНУТРИ
ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ХОЛЬРАУМА, ПРОВЕДЕННЫЕ
ПО ПРОГРАММЕ СИНАРА ДЛЯ УСЛОВИЙ
ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ЛАЗЕРНОЙ УСТАНОВКЕ NIF**

Д.В. Торшин, В.А. Лыков, С.Н. Лебедев, В.В. Рыкованова, В.Н. Селезнев, К.И. Селезнева

ЗАБАБАХИНСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ
19 марта 2019 г., Снежинск

Содержание



- **Предыдущие работы**
- **Развитие кода СИНАРА**
- **Постановка расчетов хольраума NIF**
- **Результаты расчетов хольраума**
- **Заключение**

Развитие кода СИНАРА



Перенос излучения:

многогрупповое кинетическое приближение вместо ЛТП.

- моделирование сплошной среды
- учет переноса излучения в групповом кинетическом приближении
- учет электронной и ионной теплопроводности
- обмен энергии между ионами, электронами и фотонами

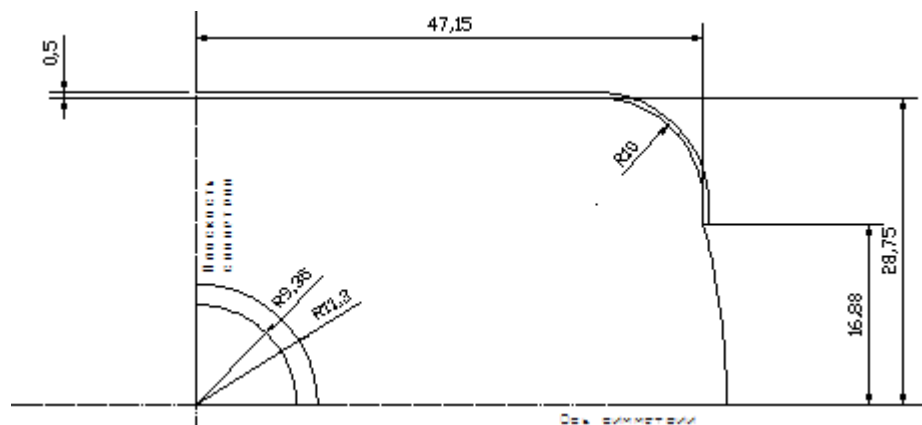
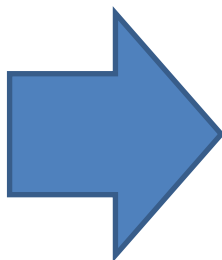
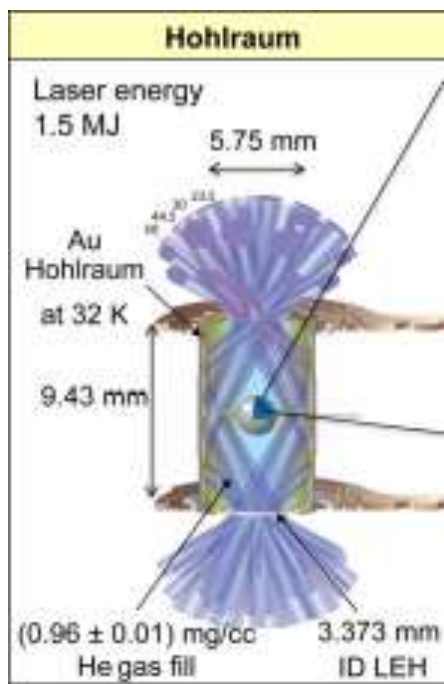
Гаджиев А.Д., Гаджиева В.В., Кузьмин С.Ю., Лебедев С.Н. и др. Пакет программ СИНАРА математического моделирования динамики аварийных процессов в ядерных энергетических установках атомных электростанций на быстрых нейтронах. ВАНТ, Сер: Математическое моделирование физических процессов, 2000, в.3, с. 25-35.

Гаджиева В.В., Лебедев С.Н. и др. Пакет программ SINARA для математического моделирования динамики аварийных процессов в ядерных энергетических установках атомных электростанций на быстрых нейтронах. Моделирование аварийных ситуаций. Препринт Российского Федерального Ядерного Центра - ВНИИТФ № 127, 1998.

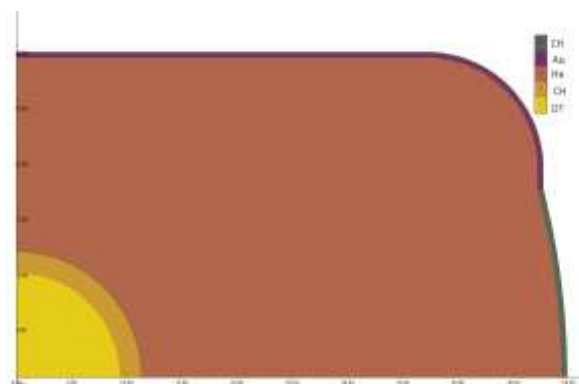
Постановка расчетов хольраума NIF



Геометрия расчета



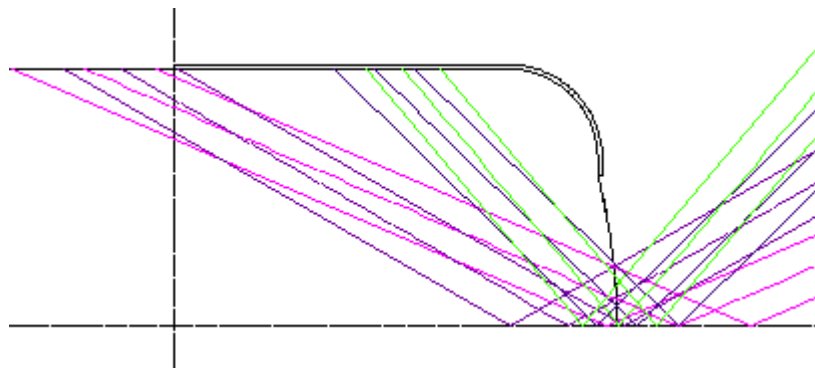
Лазерная сборка для установки NIF и схема лазерного облучения [12]



Постановка расчетов хольраума NIF

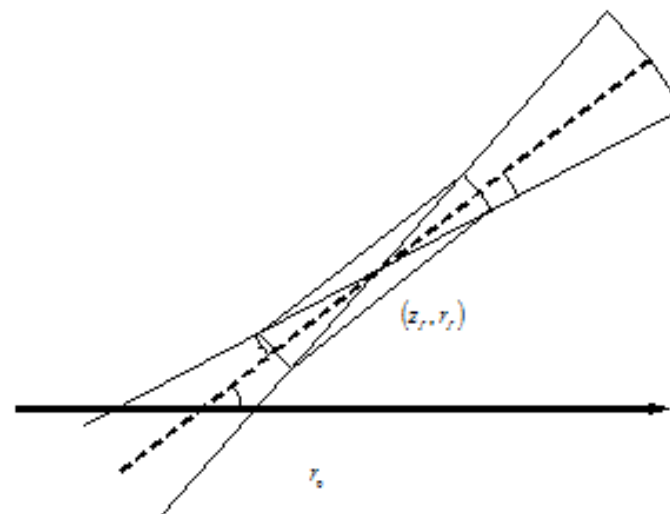


Геометрия лазерного облучения



α_{\max} – угол полураствора лазерного пучка;
(z_f, r_f) – координаты фокуса;
 r_0 – радиус фокального пятна;

№	1	2	3	4
θ	50°	44.5°	30°	23.5°
α_{\max}	1.8°	1.8°	1.8°	1.8°
r_f (л.е.д.)	0	0	0	0
z_f (л.е.д.)	49.58	51.52	43.85	56.09
r_0 (л.е.д.)	3,2	3,2	3,2	3,2



Распространение и поглощение лазерного излучения внутри хольраума рассчитывалось в приближении прямолинейной трассировки лазерных лучей для реальной трехмерной геометрии облучения хольраума на установке NIF, но без учета рефракции и отражения лазерного излучения от поверхности критической плотности.

Постановка расчетов хольраума NIF



Временная зависимость лазерной мощности

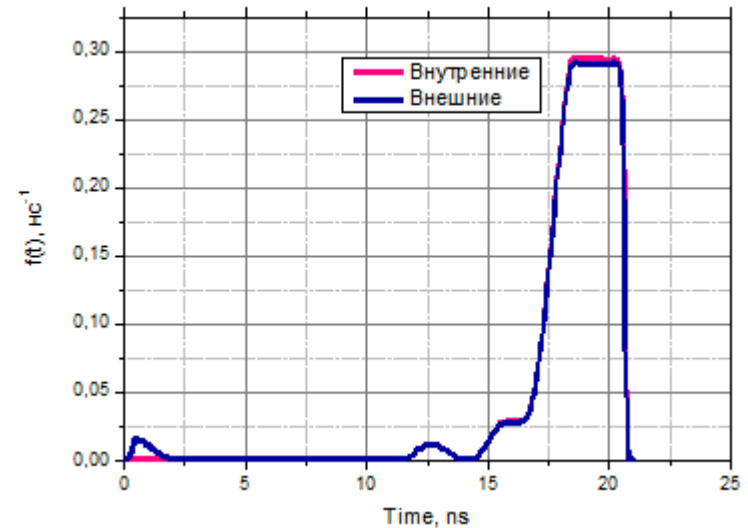
$$\frac{dE^{\pm}}{dt} = E_{\pm} \cdot f(t)$$

для внешних конусов

$E_{\text{внешн}} (44.5^{\circ} \text{ и } 50^{\circ}) = 2,33 \cdot 10^4 \text{ л.е.э.},$

для внутренних

$E_{\text{внутр}} (23.5^{\circ} \text{ и } 30^{\circ}) = 1,17 \cdot 10^4 \text{ л.е.э.}$



D. T. Casey, et al, Development of the CD Symcap platform to study gas-shell mix in implosions at the National Ignition Facility, Physics of Plasmas 21, 092705 (2014).

Постановка расчетов хольраума NIF



Расчет переноса и поглощения лазерного излучения осуществлялся по трехмерной модели.

Для веществ, в которых необходимо учитывать критическую плотность, вычисляется значение критической плотности:

$$\rho_c = 1.85 \cdot 10^{-3} \frac{\langle A \rangle}{\langle Z \rangle} \frac{1}{\lambda^2}$$

если выполнено условие $\rho < \rho_c \cdot \cos^2 \theta_i$

для вещества, в котором надо учитывать критическую плотность, или для вещества не учитывается критическая плотность, то считается коэффициент поглощения (коэффициент обратно-тормозного поглощения):

$$K(\text{см}^{-1}) = 3 \cdot \frac{\langle z_k^2 \rangle}{\langle z_k \rangle} \cdot \Lambda_{ei}^{стп} \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_c \cdot \lambda} \right)^2 \cdot T_d^{-\frac{3}{2}} \cdot \frac{1}{n_0}$$

Если же условие не выполнено, то $k_{lazer} = \infty$. В этом случае все значения интенсивности начиная с номера n равны нулю: $I_k(s_m, t) = 0, m \geq n$

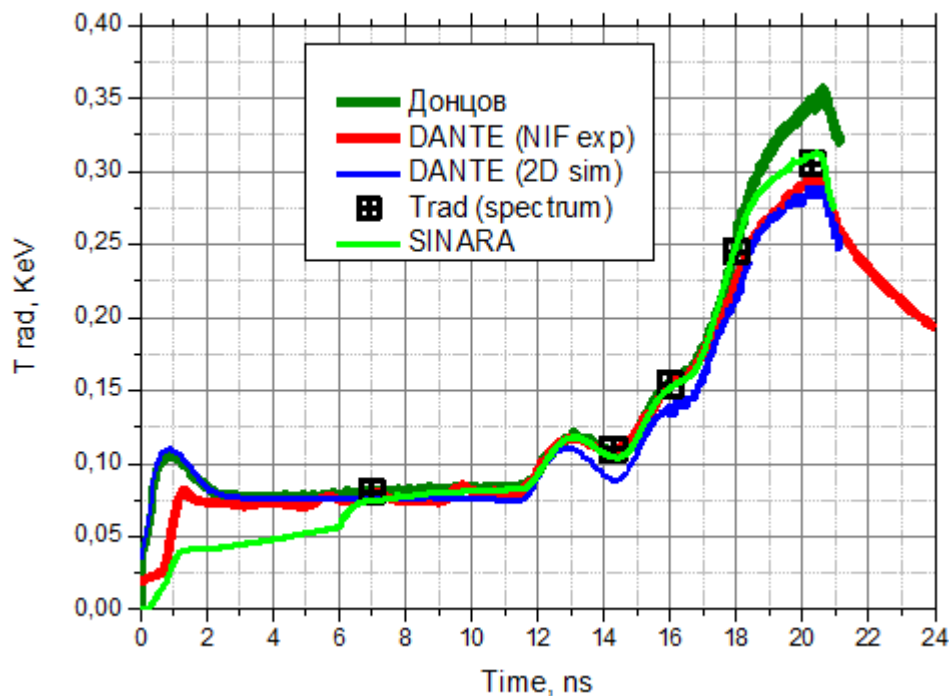
Для смешанных ячеек делается усреднение.

Рефракция и отражение лазерных лучей не учитывались.

Результаты расчета



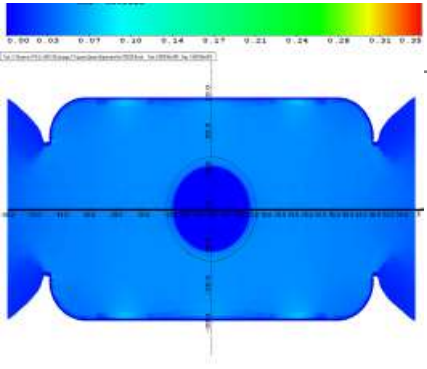
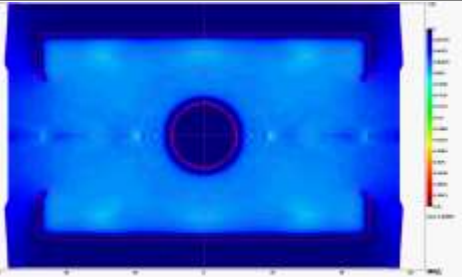
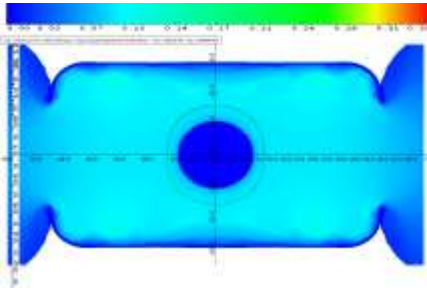
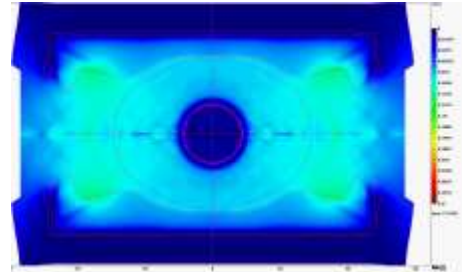
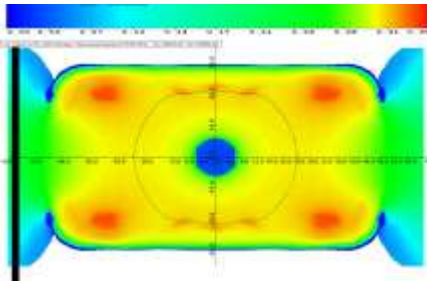
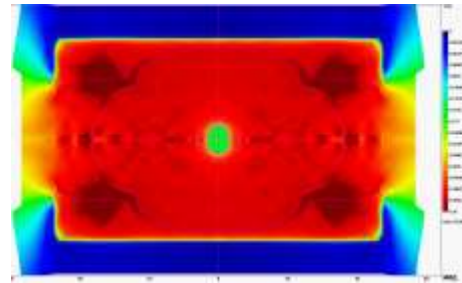
Временная зависимость фотонной температуры в He



D. T. Casey, et al, Development of the CD Symcap platform to study gas-shell mix in implosions at the National Ignition Facility, Physics of Plasmas 21, 092705 (2014).

К.А.Волкова, А.С.Гнутов, С.А.Донцов, А.С.Ульянов Расчетно-теоретическое исследование работы термоядерной мишени в эксперименте на установке NIF. Труды международной конференции «XVIII Харитоновские тематические научные чтения» т.1., стр.323.

Результаты расчета

Время, нс	СИНАРА	РФЯЦ-ВНИИЭФ
5		
12		
20		

Заключение



С учетом новых возможностей программы СИНАРА выполнены двумерные расчеты генерации и распространения теплового рентгеновского излучения внутри цилиндрического хольраума для условий экспериментов, проведенных на лазерной установке NIF. Результаты расчетов поля рентгеновского излучения внутри хольраума, проведенных по программе СИНАРА, удовлетворительно согласуются с опубликованными экспериментальными данными.

Для повышения точности расчетов необходимо в первую очередь улучшить модель поглощения лазерного излучения. В частности необходимо в этой модели учесть рефракцию лазерного излучения в плазме хольраума, перекачку энергии при пересечении лазерных пучков и отражение лазерного излучения от поверхности критической плотности.

Спасибо за внимание!

Ссылки



- 1) С.Г. Гаранин. Мощные лазеры и их применение в исследованиях физики высоких плотностей энергии, УФН, 181, 434 (2011).
- 2) M.N. Chizhkov, M.Yu. Kozmanov, S.N. Lebedev, V.A. Lykov, V.V. Rykovanova, V.N. Seleznev, K. I. Selezneva, O.V. Stryakhnina, A.A. Shestakov, A.V. Vronskiy, Simulation of the hohlraum for a laser facility of megajoule scale. The Sixth International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications. Journal of Physics: Conference Series 244 (2010) 022073. IOP Publishing.
- 3) D. T. Casey, et al, Development of the CD Symcap platform to study gas-shell mix in implosions at the National Ignition Facility, Physics of Plasmas 21, 092705 (2014).
- 4) S. V. Weber, et al, Simulations of indirectly driven gas-filled capsules at the National Ignition Facility, Physics of Plasmas 21, 112706 (2014).
- 5) V. A. Smalyuk, et al, Measurements of an ablator-gas atomic mix in indirectly driven Implosions at the National Ignition Facility, PRL 112, 025002 (2014).
- 6) Гаджиев А.Д., Гаджиева В.В., Кузьмин С.Ю., Лебедев С.Н. и др. Пакет программ СИНАРА математического моделирования динамики аварийных процессов в ядерных энергетических установках атомных электростанций на быстрых нейтронах. ВАНТ, Сер: Математическое моделирование физических процессов, 2000, в.3, с. 25-35.
- 7) Гаджиева В.В., Лебедев С.Н. и др. Пакет программ SINARA для математического моделирования динамики аварийных процессов в ядерных энергетических установках атомных электростанций на быстрых нейтронах. Моделирование аварийных ситуаций. Препринт Российского Федерального Ядерного Центра - ВНИИТФ № 127, 1998.
- 8) Н.Н.Яненко. Метод дробных шагов решения многомерных задач математической физики. Новосибирск, Наука, 1967.
- 9) Г.И.Марчук. Методы расщепления. Москва, Наука, 1988, с.80-81.
- 10) А.Д.Гаджиев, В.Н.Селезнев, А.А.Шестаков. DSn-метод с искусственной диссипацией и ВДМ-метод ускорения итераций для численного решения уравнения переноса теплового излучения в кинетической модели. ВАНТ, сер. Математическое моделирование физических процессов, Вып. 4. С.33-46, 2003.
- 11) B.G.Carlson. The numerical theory of neutron transport. Methods of computational physics. N.Y.,1963, 1, p.1-42.
- 12) S.H. Glenzer et al., Cryogenic termonuclear fuel implosions on the National Ignition Facility, *Phys.Plasmas* 19, 056318 (2012).
- 13) Г.М. Елисеев, Г.Е. Клинишов. Уравнение состояния твердых веществ и его сплайн-аппроксимация. Препринт №173. Москва ИПМ АН СССР, 1982.
- 14) К.А.Волкова, А.С.Гнутов, С.А.Донцов, А.С.Ульянов Расчетно-теоретическое исследование работы термоядерной мишени в эксперименте на установке NIF. Труды международной конференции «XVIII Харитоновские тематические научные чтения» т.1., стр.323.