

# Поглощение лазерного излучения в короне мишеней с прямым воздействием для российской установки мегаджоульного класса

**И.А. Химич<sup>1,2</sup>, В.А. Лыков<sup>1</sup>**

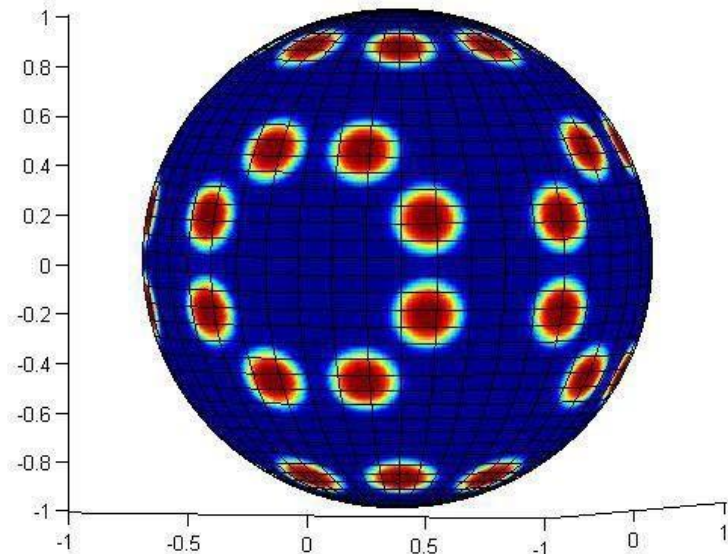
*<sup>1</sup>ФГУП РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина,  
Снежинск, РФ.*

*<sup>2</sup>СФТИ НИЯУ МИФИ, Снежинск, РФ.*

# Содержание

- Введение
- Расчет поглощенной энергии:
  - модель с учетом рефракции лазерного излучения
  - влияние оптической толщины на однородность поглощенной энергии
  - положение кластеров на мешенной камере
- Неоднородность поглощенной энергии
- Сравнение однородности поглощенной энергии при  $f/D=4$  и  $f/D=8$
- Заключение

- Конфигурация установки предполагает расположение кластеров в симметрии куба[1].
- Рассматриваются:
  - изотермическая корона
  - коническое схождение пучка,
  - профили эл. концентрации задается аналитически,
  - положение кластеров пучков в симметрии куба,
  - разбаланс в мощностях пучков.



1. С.Г. Гаранин, С.А. Бельков, С.В. Бондаренко. Концепция построения лазерной установки ХХХІХ Международная (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, 6 – 10 февраля 2012 г.

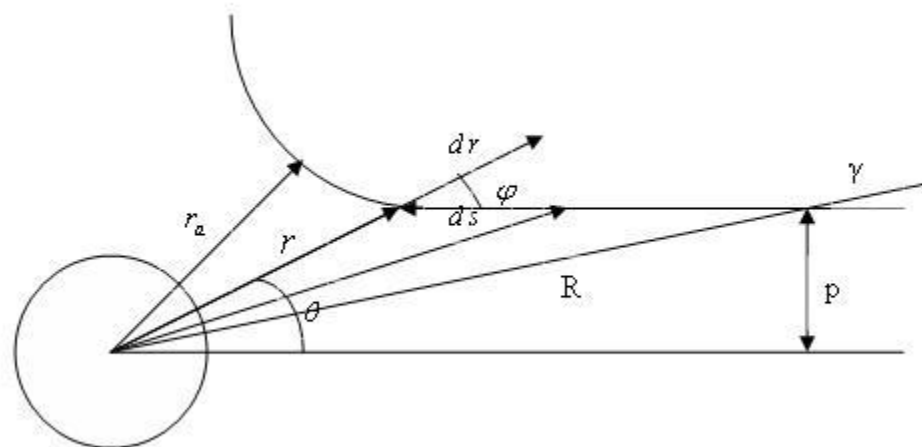
# Модель

Расчет поглощения лазерного излучения проводился в приближении геометрической оптики для плотности электронов  $n_e = n_c (r_c/r)^m$ , где  $n_c = (4\pi e^2)/(m_e \omega_0^2)$ . Траектория лучей задается формулой [2]:

$$\theta(r) = \gamma + \int_r^R \frac{p dr'}{r' \sqrt{(nr')^2 - p^2}}$$

А оптическая толщина:

$$\tau(r) = \int_r^R \frac{k dr'}{\sqrt{1 - p^2/(nr')^2}}$$



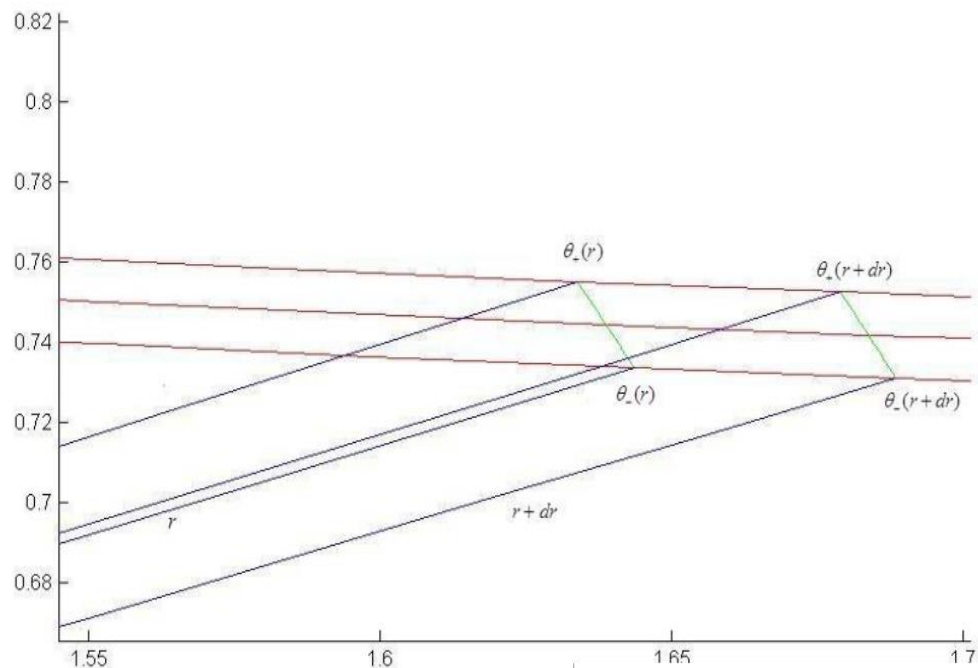
# Расчет объемного энерговыделения в модели лучевых трубок

- Лазерное излучение рассматриваем как пучок лучей. Из него последовательно выбираются 3 луча. Два крайних из них образуют лучевую трубку, а средний луч несет в себе мощность, заключенную в этой трубке.

$$\frac{dE}{dt dV} = \frac{k I_0 e^{-\tau(r)} S_0}{\cos(\theta(r)) S}$$

$$S_0 = 2\pi r dr$$

$$S = 2\pi \sin(\theta(r)) d\theta$$



# Неоднородность поглощения энергии

$$dE/dtd\Omega \text{ для } n_e = n_c (r_c/r)^2$$

Асимметрия и среднеквадратичное отклонение в зависимости от расфокусировки  $d/r_0$  для  $f/D=4$  и  $f/D=8$  при Гауссовом распределении интенсивности в пучке

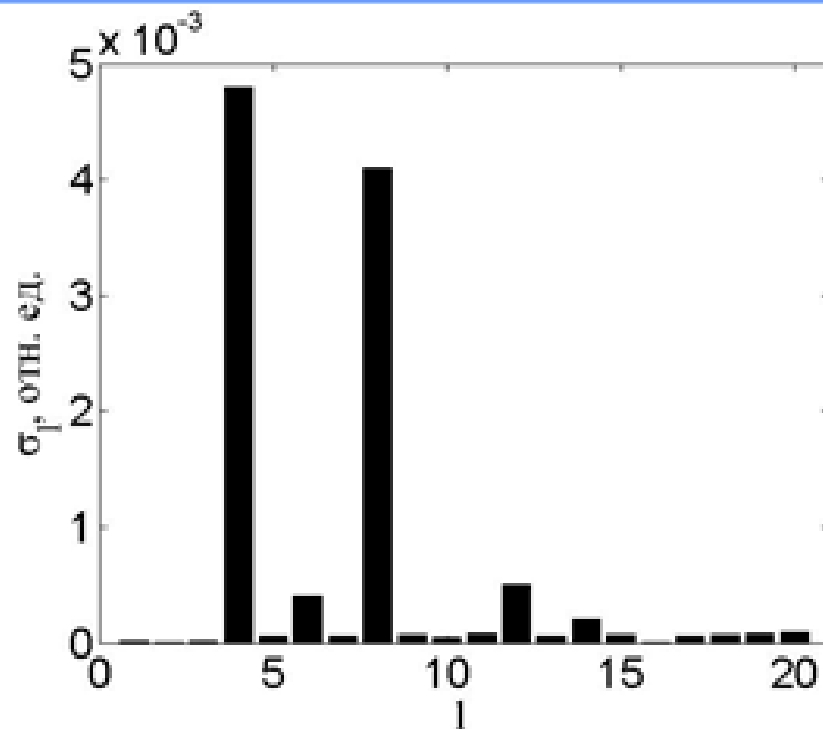
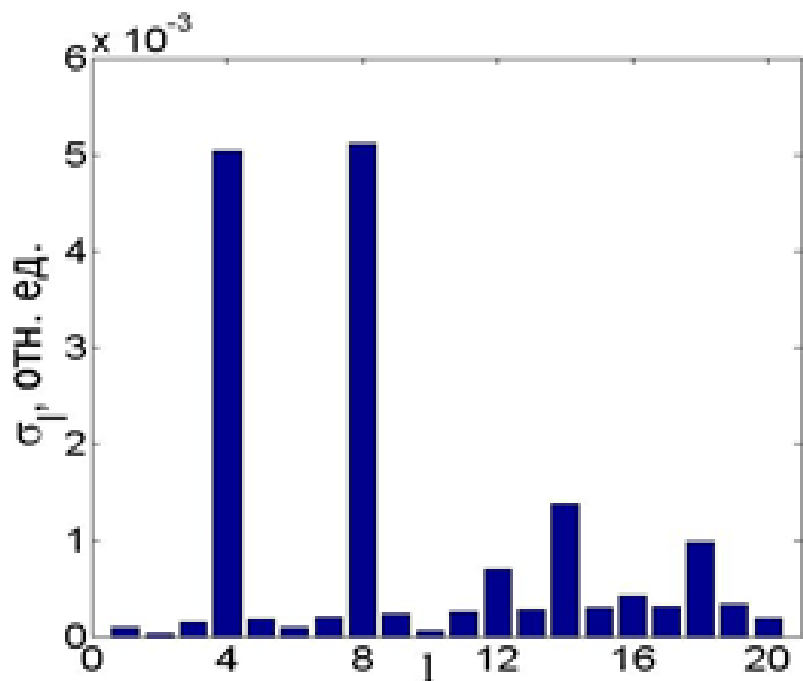
$f/D=4$				$f/D=8$			
$d/r_0$	A(%)	$\eta, \%$	$\Delta, \%$	$d/r_0$	A(%)	$\eta, \%$	$\Delta, \%$
6	58,0	3,62	0,73	12	57,7	6,68	1,04
8	53,2	4,44	0,81	14	52,9	4,08	0,74
10	45,3	4,98	1,10	16	49	4,73	0,87

$$F(\theta, \varphi) = dE/dtd\Omega$$

$$\eta = (F_{max} - F_{min}) \quad \Delta = \frac{1}{F} \sqrt{\frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} (F(\theta, \varphi) - \bar{F})^2 \sin(\theta) d\theta d\varphi}$$

# Гармонический состав $dE/dtd\Omega$

для  $n_e = n_c (r_c/r)^2$  в оптимуме при  $f/D=4$  и  $f/D=8$

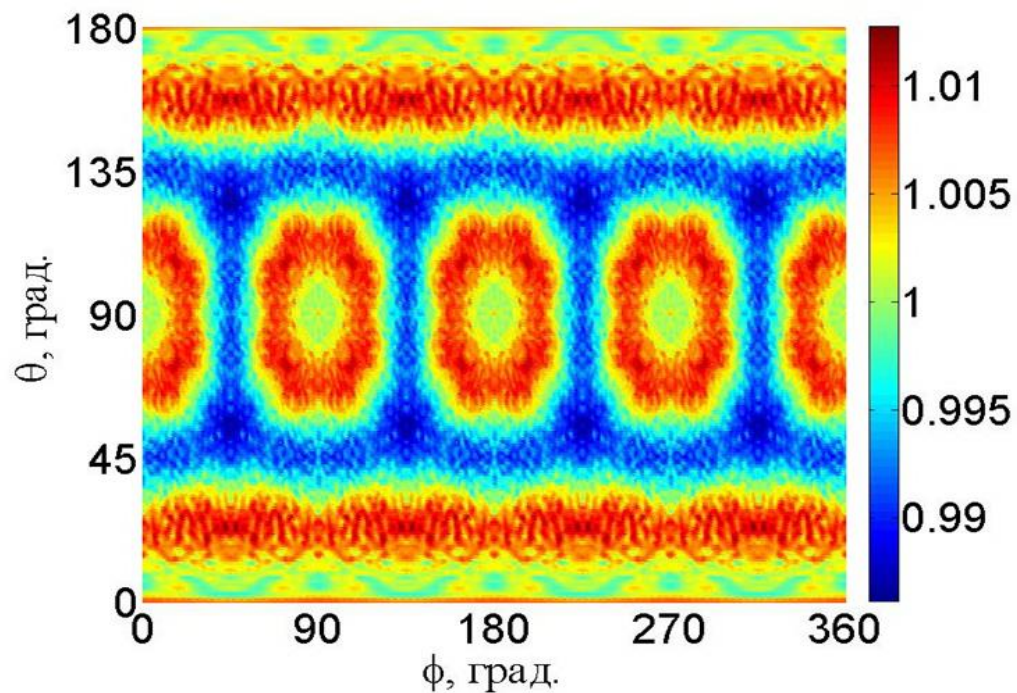
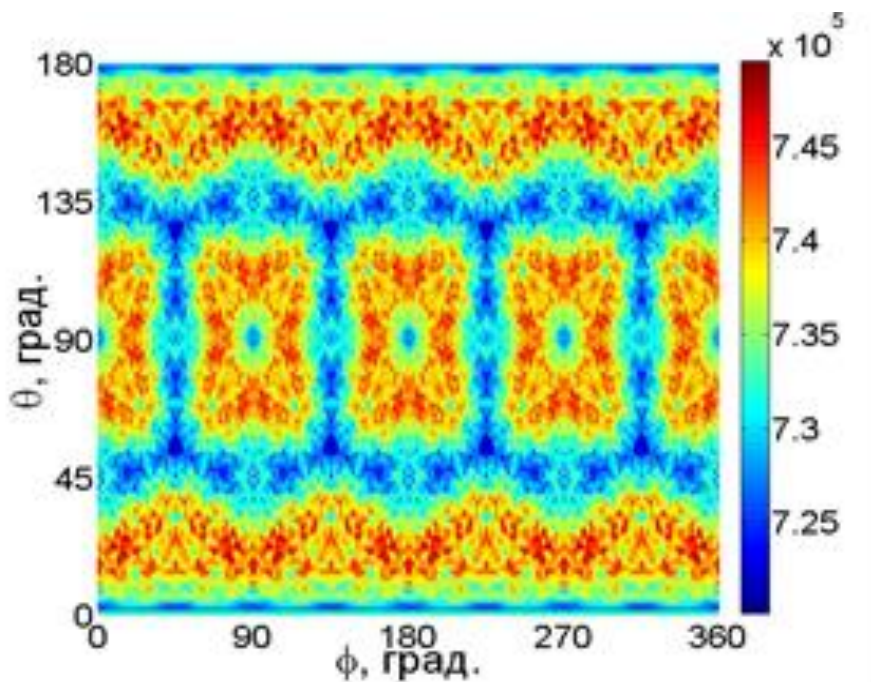


Среднеквадратичное отклонение:  $\Delta = 0.73$ . Ведущими являются гармоники с № 4 и 8. Расчет гармонического состава проведен по формулам:

$$\sigma_l = \sqrt{\sum_{m=-n}^{m=n} \left( a_{lm} / a_{00} \right)^2} \quad a_{lm} = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi \frac{dE}{dtd\Omega}(\theta, \varphi) \overline{Y_l^m}(\theta, \varphi) \sin(\theta) d\theta$$

$$dE/dtd\Omega$$

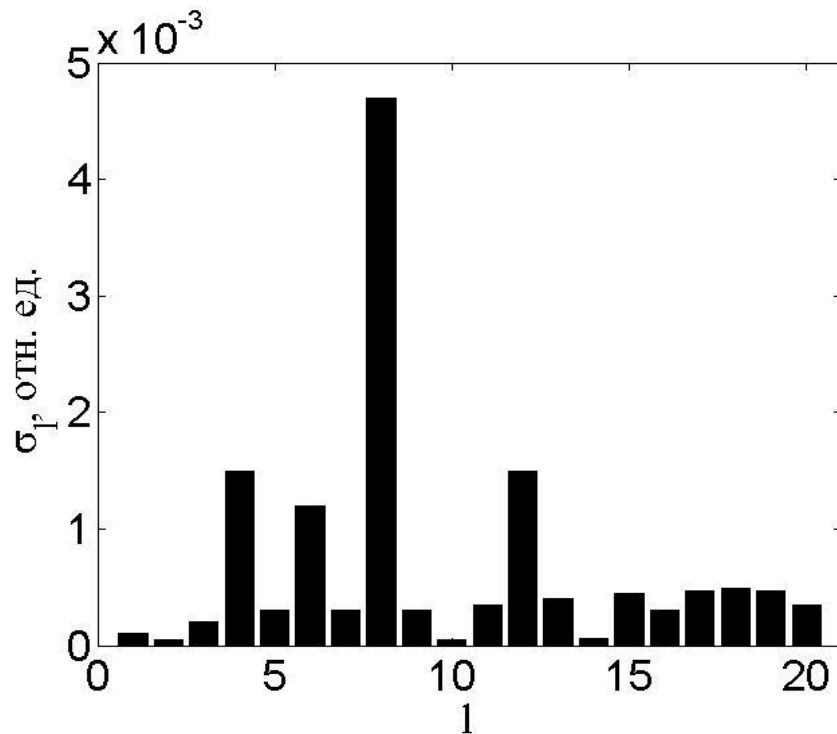
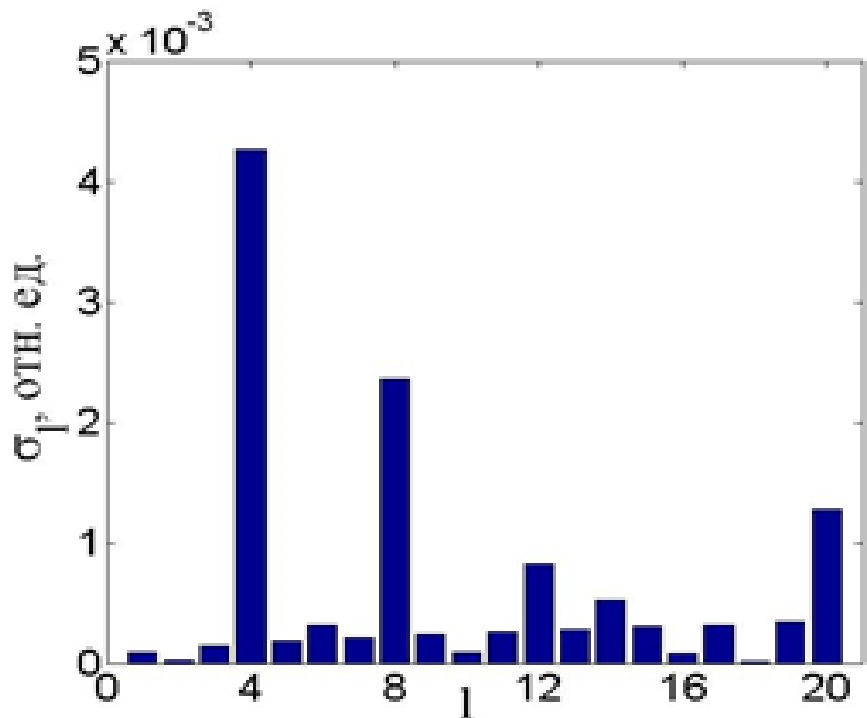
для  $n_e = n_c(r_c/r)^2$  в оптимуме при  $f/D=4$  и  $f/D=8$





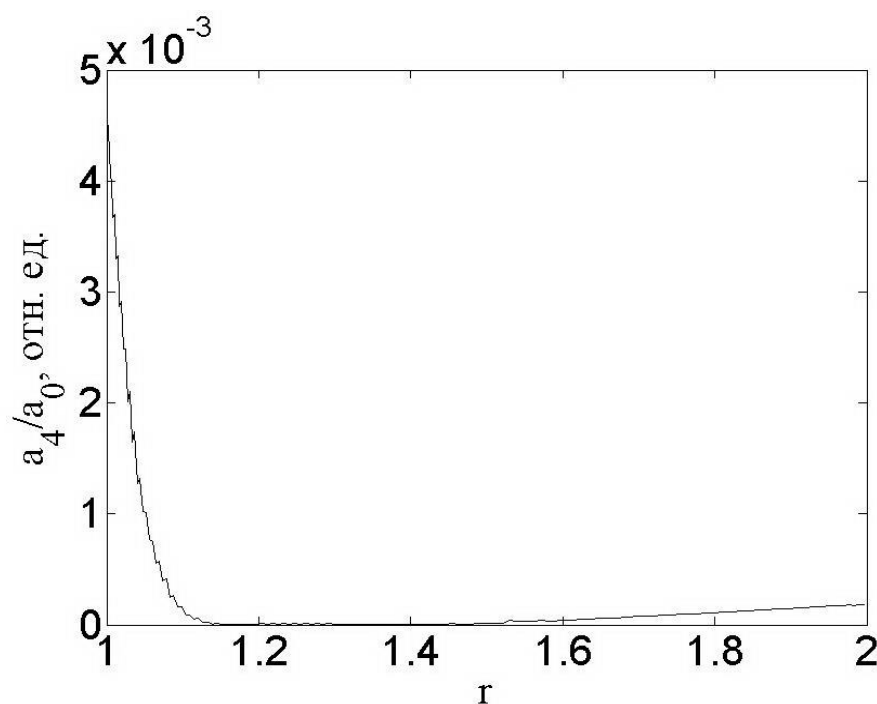
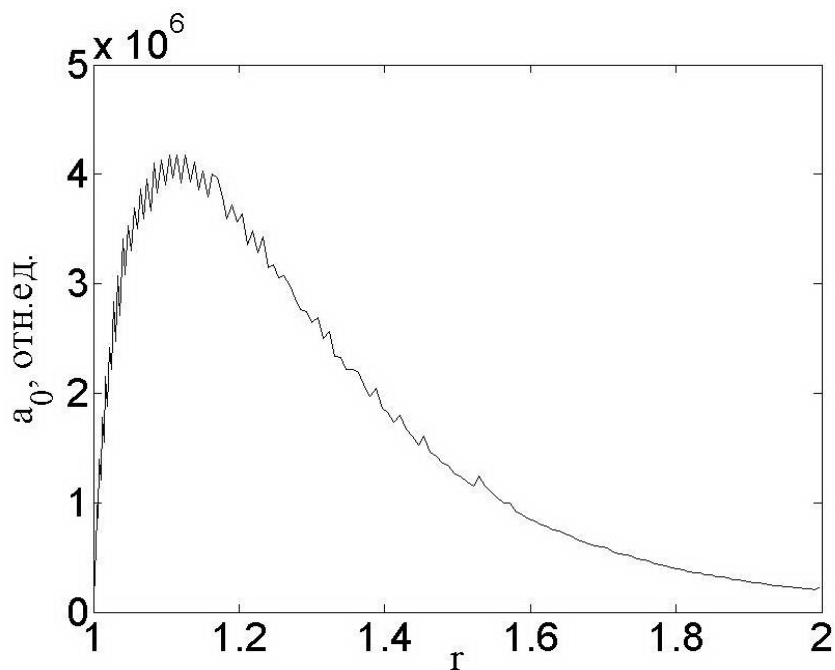
# Гармонический состав $dE/dtd\Omega$

для  $n_e = n_c(r_c/r)^3$  в оптимуме при  $f/D=4$  и  $f/D=8$



Среднеквадратичное отклонение:  $\Delta = 0.52$ .  $\Delta$  уменьшилось в 1.5 раза по сравнению с случаем для квадратичного профиля электронной концентрации. Ведущими остались гармоники с №4 и №8.

# Радиальный профиль $dE/dtdV$ и амплитуда 4-ой гармоники для $n_e = n_c(r_c/r)^2$ и расфокусировки $d/r_0$



$$a_l = \sqrt{\sum_{m=-n}^{m=n} \left( a_{ln} / a_{00} \right)^2}$$

$$a_{ln} = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi \frac{dE}{dtdV}(\theta, \varphi) \overline{Y_l^n}(\theta, \varphi) \sin(\theta) d\theta$$

# Неоднородность поглощенной энергии $dE/dtd\Omega$ для различных оптических толщин

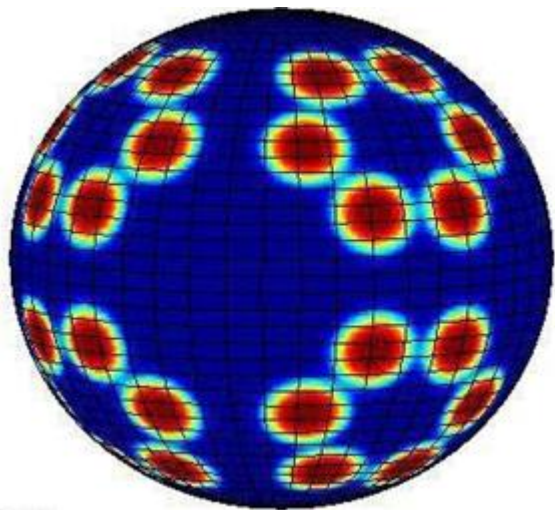
Коэффициент отражения рассчитывался по формуле  $R_{\text{отр}} = e^{-2*\tau_0}$ , где  $\tau_0$  - оптическая толщина для луча в пучке, нормально падающего на мишень

$d / r_0$	$R_{\text{отр}} = 5\%$			$R_{\text{отр}} = 10\%$			$R_{\text{отр}} = 20\%$		
	A(%)	$\eta, \%$	$\Delta, \%$	A(%)	$\eta, \%$	$\Delta, \%$	A(%)	$\eta, \%$	$\Delta, \%$
12	77,3	6,60	1,16	69,5	6,61	1,10	57,7	6,68	1,04
14	72,2	4,87	0,90	64,3	4,54	0,83	52,9	4,08	0,74
16	67,9	5,25	1,07	60	5,03	0,97	49	4,73	0,87

## с осями симметрии кластеров в вершинах куба

Асимметрия и среднеквадратичное отклонение в зависимости от расфокусировки  $d/r_0$  для Гауссового профиля интенсивности и фокальных соотношений

$f/D=4$  и  $f/D=8$



$d / r_0$	$\eta, \%$	$\Delta, \%$	$d / r_0$	$\eta, \%$	$\Delta, \%$
4	15.78	3.78	10	13,47	2,94
6	4.33	0.50	12	7,76	1,23
8	4.79	0.86	14	4,04	0,54
10	10.56	1.44	16	4,26	0,76

# Сравнение эффективности двух конфигураций облучения

N	$\Delta_o, \%$	$\Delta_a \%,$
6	0.35	0.73
8	0.2	0.53

	$\Delta_8, \%, m=2$	$\Delta_6, \%, m=2$	$\Delta_6, \%, m=3$
$\sigma_p = 3\%$	0.78	0.98	0.73
$\sigma_p = 5\%$	0.98	1.31	0.96

# Заключение

- При оптимальных условиях фокусировки для фокального соотношения  $f/D=8$  среднеквадратичное отклонение поглощенной энергии составило 0.55%.
- Переход с 6-и на 8-м главных направлений облучения в геометрии куба улучшает однородность поглощенной энергии и допустимый разбаланс мощности в  $\sim 1,5$  раза.
- Разбаланс мощности между 48-ю кластерами лазерных пучков не должен превышать 3 % для получения среднеквадратичного отклонения поглощенной энергии не более 1%.

Спасибо за внимание

