

# СЕГМЕНТНЫЙ ФОРМИРОВАТЕЛЬ ПУЧКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ДЛЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ЛАЗЕРА НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ.

Г.Д. Богомолов<sup>1</sup>, В.Д. Громов<sup>2</sup>, В.В. Завьялов<sup>1</sup>, А.А. Летунов<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Институт физических проблем им. П. Л. Капицы РАН, <sup>2</sup> Институт космических исследований РАН, <sup>3</sup> Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН.

## Аннотация

Изготовлено и исследовано сегментное зеркало для формирования зоны облучения мощным ТГц пучком облачка пылевых частиц, моделирующих космическую пыль. Проведен численный расчет с учетом дифракционных эффектов и измерены основные характеристики зеркала в спектральном диапазоне генерации первой очереди ЛСЭ. Формирователь технологичен в изготовлении и может быть во многих случаях с успехом применен для концентрации мощного терагерцового излучения.

## 1. Введение.

Разработка предназначена для экспериментов по взаимодействию терагерцового излучения с пылевыми частицами [1], в частности для выявления влияния рыхлой (фрактальной) структуры частиц космической пыли на их спектральные свойства [2]. Полный текст данной работы доступен в интернете [3].

## 2. Конструкция.

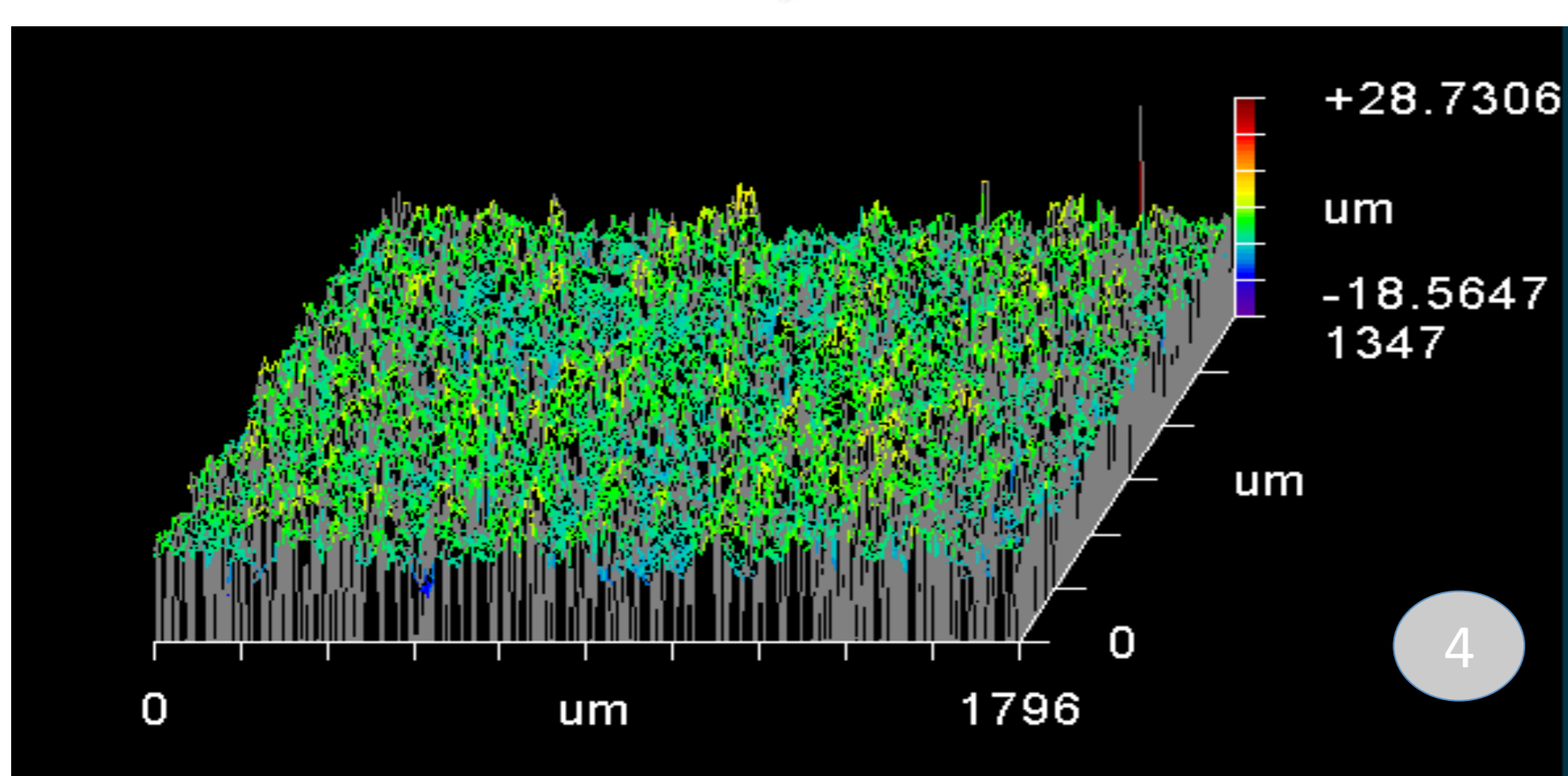
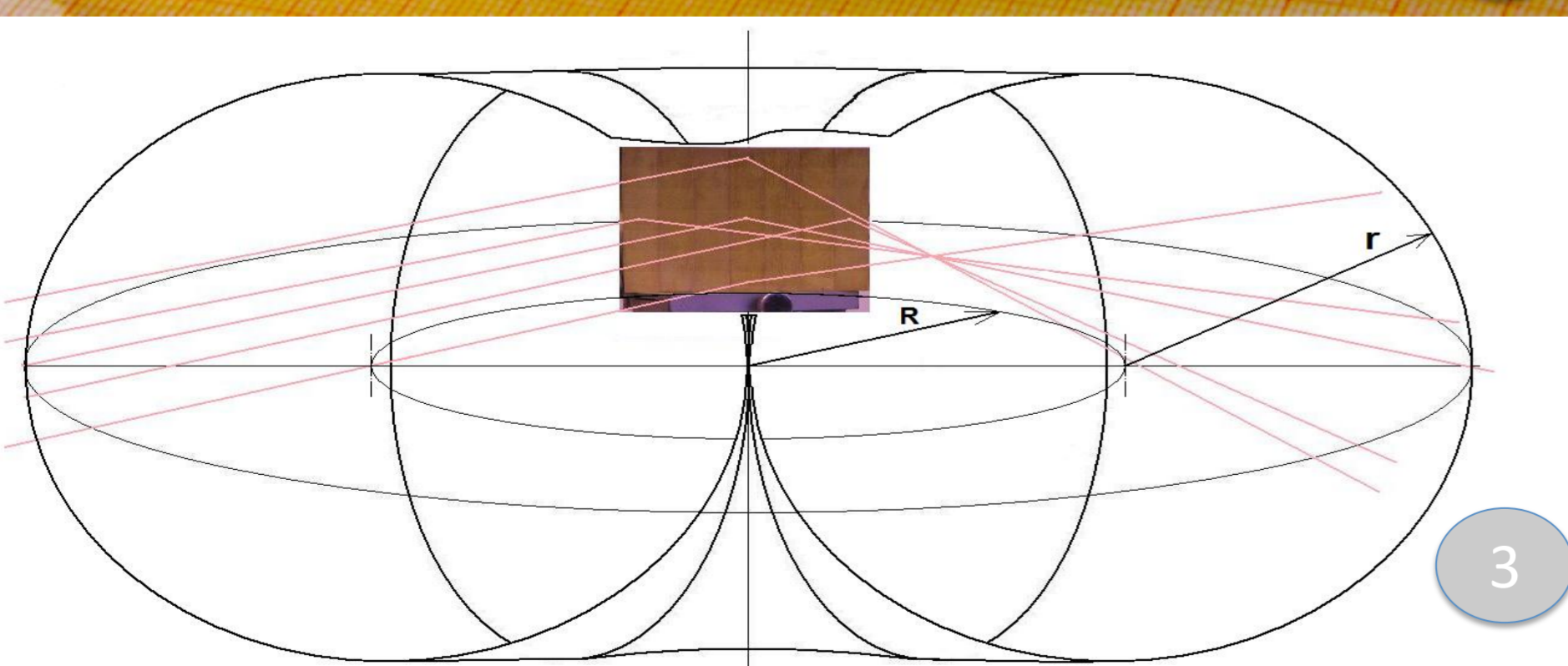
Формирователь состоит из 7 одинаковых сегментов (рис. 1).



Каждый сегмент (рис. 2) имеет рабочую поверхность из 7-и трапецевидных площадок. В результате зеркало состоит из 49-ти плоских зеркальных элементов. Каждый касается поверхности тора (рис. 3) с равными большим и малым радиусами  $R = r$ .

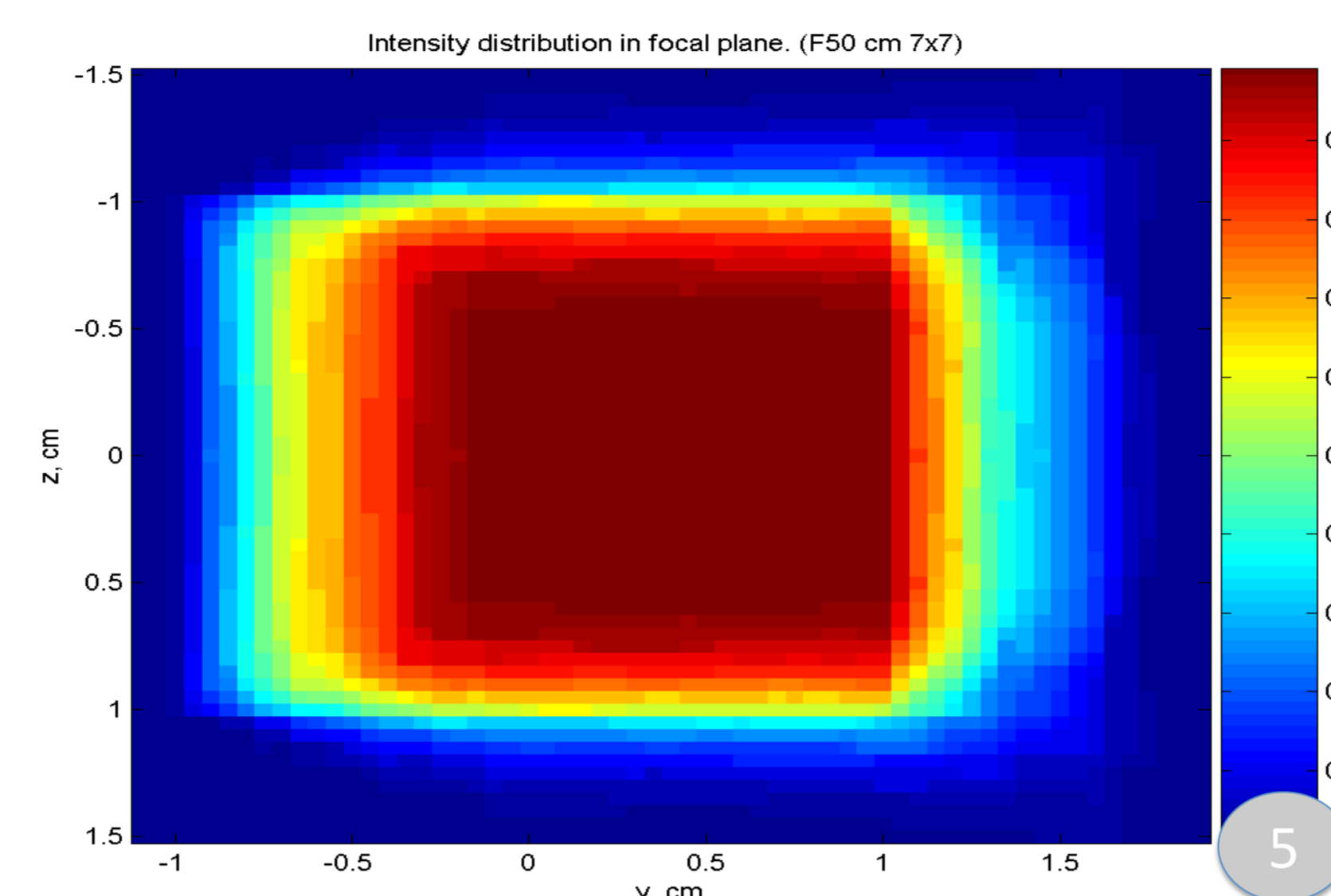
Рабочий образец зеркала был изготовлен из латунных сегментов на электроэрозионном станке с ЧПУ фирмы Фрязино-BEST.

Качество полученной поверхности было проконтролировано на интерферометре белого света (рис. 4). Среднеквадратическое отклонение от плоскости составило 3,5 мкм, что является очень хорошей величиной для диапазона длин волн 120-240 мкм.



## 3. Расчет конфигурации "фокального" пятна

Результаты расчета методом "прогонки лучей", заложенного в большинство оптических программ, показаны на рис. 5.



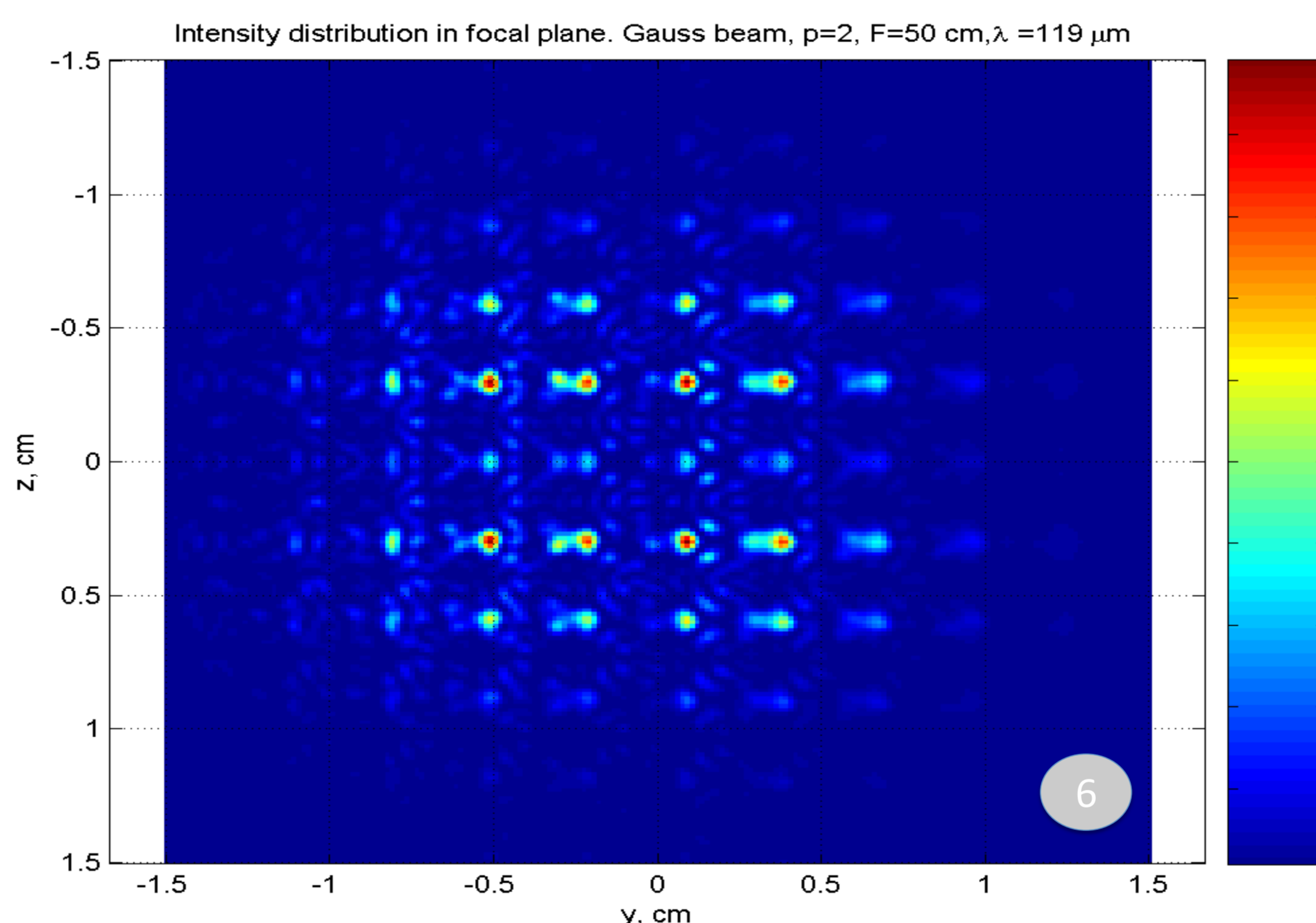
Это изображение соответствует картине полученной в белом свете после юстировки (на совмещение пятен света, сформированных каждым сегментом).

В свете терагерцового лазера картина принципиально другая. Она рассчитывалась по методу Гюйгенса-Френеля, в этом приближении численно оценивался интеграл

$$E(y_p, z_p) = \int_S (e^{ikr} / i\lambda r) E'(x, y, z) dS,$$

где волновое число  $k=2\pi/\lambda$ ,  $E$  - амплитуда волн,  $r$  - расстояние от точки  $(x, y, z)$  зеркала до точки  $(y_p, z_p)$  плоскости изображения,  $S$  - поверхность зеркала.

Результат расчета этим методом показан на рис. 6.



Наряду с картиной дифракции Фраунгофера, подобной картине от экрана с периодически расположенными отверстиями, здесь проявляется спекл-структура зернистого изображения, обычно наблюдаемая при работе с оптическими лазерами, а также при коротких экспозициях в астрономии.

Этот эффект связан с расфазировкой отдельных площадок формирователя, которая моделировалась равномерным разбросом фаз в интервале  $(0, 2\pi)$  при расчете. Эта расфазировка естественным образом возникает при юстировке только по интенсивности света. Она необходима в эксперименте для размытия пиков яркости, чтобы избежать интенсивностей близких к пробую.

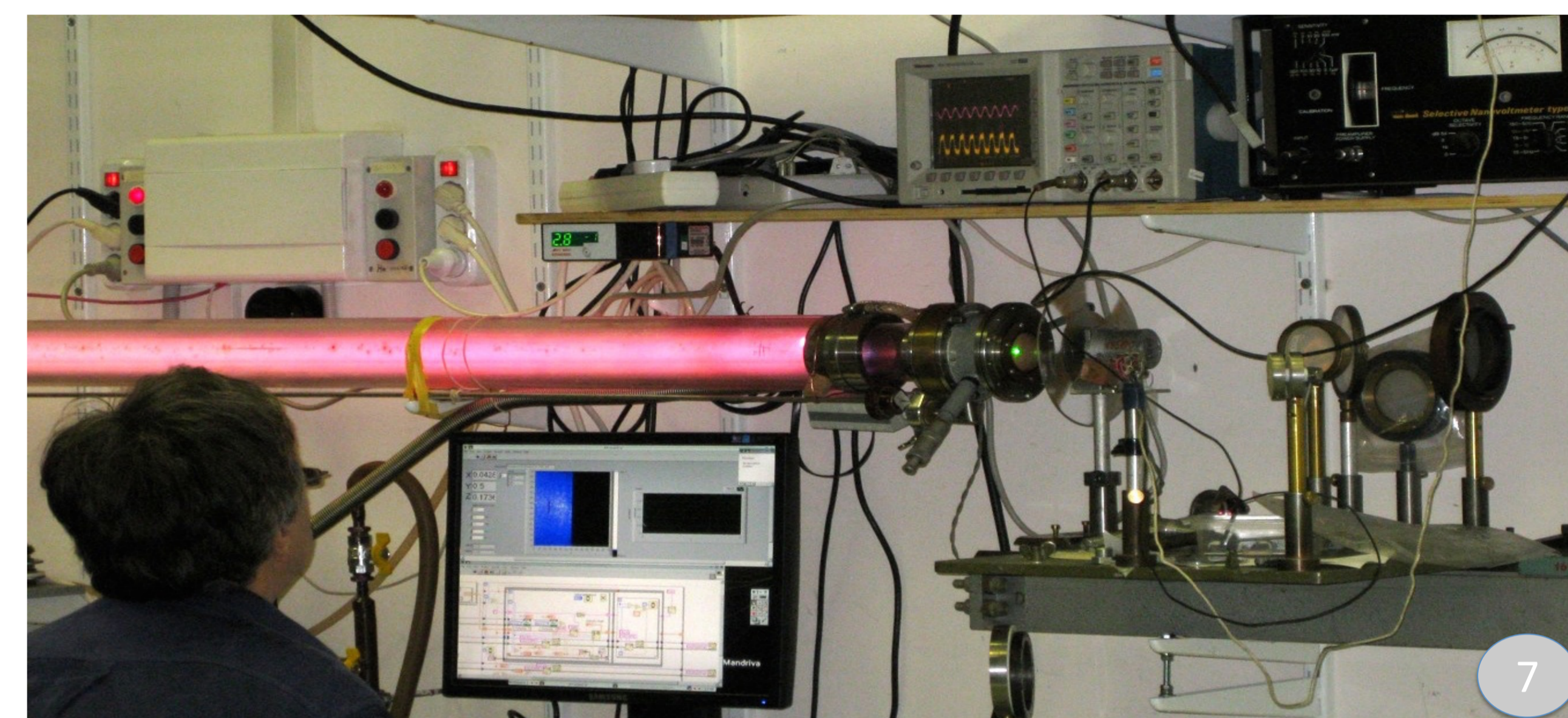
В измеренных изображениях, подобных рис. 8, эффект не так заметен из-за ограничений по пространственному разрешению и отношению сигнал/шум, однако он выявляется при математической обработке изображений.

## Литература

- Г.Д. Богомолов, В.Д. Громов. Экспериментальные исследования прохождения терагерцового излучения через взвешенную пыль. «Генерация и применение терагерцового излучения», ИЯФ СО РАН; с. 85-95, 2006.
- Meny, C.; Gromov, V.; Boudet, N.; Bernard, J.-Ph.; Paradis, D.; Nayral, C. Far-infrared to millimeter astrophysical dust emission. I. A model based on physical properties of amorphous solids. *Astron. & Astrophys.* 468, 171, 2007. <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0701226>
- G.D. Bogomolov, V.D. Gromov, A.A. Letunov, V.V. Zavyalov (2015). The Segmented Beamformer for Electromagnetic Waves of the Terahertz Free Electron Laser. <http://arxiv.org/abs/1512.05639>

## 4. Измерение характеристик отражателя в терагерцовом диапазоне

Для изучения функционирования отражателя в спектральном диапазоне излучения ЛСЭ были проведены модельные измерения с одномодовым  $H_{20}$  лазером (рис. 7), на длинах волн 118.6 и 220 мкм. Выходная была порядка 2-5 мВт, что гораздо больше мощности тепловых излучателей этого диапазона, но и при этом только за счет высокой чувствительности детекторов можно достичь хорошего отношения «сигнал-шум» при измерениях с достаточно высоким пространственным разрешением. В качестве детекторов использованы охлаждаемые жидким гелием кристаллы Ge:B - 118.6 мкм и InSb в резонансном магнитном поле - 220 мкм.



Излучение из исследуемой области подводилось к детекторам по системе лучеводов в виде состыкованных шарнирами с зеркальными элементами отрезков тонких телескопических трубок. Выходная трубка лучеводной сборки была жестко скреплена с входом лучевода низкотемпературного детектора. Измерительная область размером  $\sim 40 \times 40$  мм зондировалась контролируемым перемещением входного торца лучевода. Сканирование реализовывалось за счет электромеханической системы.

На рис. 8 представлено распределение интенсивности, снятое на длине волны 118.6 мкм за 4 часа. Естественно, отрицательные значения на картинке являются проявлением низких положительных значений интенсивности, в следствие шумов измерений, которые и создают мелкие детали на периферии картинке.

## 5. Выводы

Полученные на двух длинах волн двумерные распределения отраженного от зеркала сигнала удовлетворительно совпадают с проделанным расчетом, включая отдельные области концентрации излучения.

Некоторые отклонения по видимому могут быть связаны с недостаточной точностью согласования угловых положений отдельных сегментов. Сам этот факт, как и уровень пространственной неоднородности мощности не является помехой для интерпретации результатов измерений нагрева аналогов космических частиц. Такие формирователи мощного ЛСЭ терагерцового диапазона.

