

**И. В. Балыкин<sup>1</sup>, А. А. Рыжевич<sup>1,2</sup>, А. А. Найдун<sup>2</sup>,  
Т. А. Железнякова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт физики имени Б. И. Степанова НАН Беларуси,  
Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

## **АНАЛИЗ КАЧЕСТВА БЕССЕЛЕВЫХ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ ВТОРОГО ПОРЯДКА, СФОРМИРОВАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ОДНООСНЫХ КРИСТАЛЛОВ**

### **Введение**

В подавляющем большинстве случаев применения бесселевых световых пучков имеет значение их качество. В [1] были предложены объективные критерии для численной оценки качества бесселевых световых пучков нулевого порядка (БСП<sub>0</sub>). Известно также, что параметры качества реальных, конечных в пространстве БСП обычно существенно зависят от продольной координаты [2], поэтому предложенные численные параметры качества можно использовать для определения оптимальной конфигурации оптической схемы, обеспечивающей наилучшее качество формируемого ею БСП. Настоящая работа посвящена рассмотрению параметров качества БСП 2-го порядка (БСП<sub>2</sub>), формируемого с помощью одноосного кристалла дигидрофосфата (дигидроортофосфата) калия  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (KDP).

### **1. Определение параметров качества БСП<sub>2</sub>**

Параметры качества для БСП<sub>2</sub> можно ввести, исходя из методологии в [1], производя набор аппроксимаций для различных радиальных

распределений интенсивности светового пучка, внося следующие изменения:

1. Заменить вид аппроксимирующей функции для интенсивности на

$$\hat{I}(r) = aJ_2^2[b(r - c)],$$

где  $r$  – радиальная координата,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – параметры аппроксимации,  $J_2$  – функция Бесселя второго порядка.

2. Значение  $r_1$  следует определять как наименьший по модулю нетривиальный корень уравнения

$$\left. \frac{dJ_2^2(br)}{dr} \right|_{r=r_1} = 0$$

Этот корень будет соответствовать центральному кольцу БСП<sub>2</sub>. Таким образом, приближенно

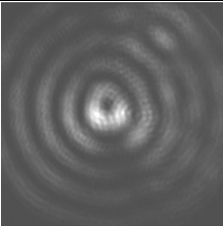
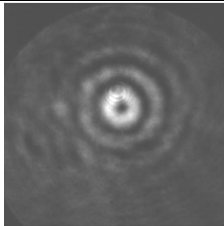
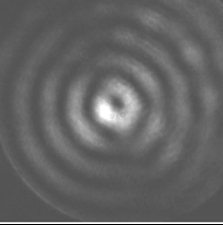
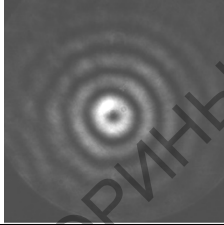
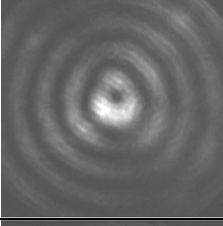
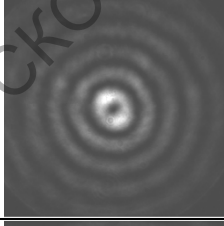
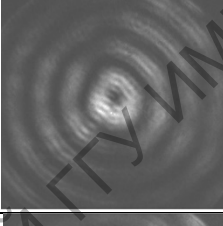
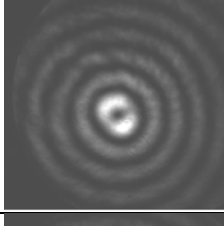
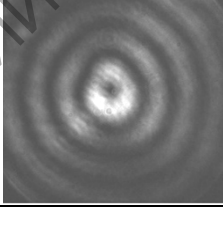
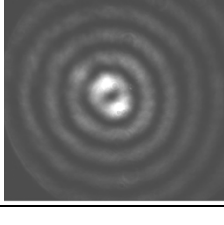
$$r_1(\varphi) = 3,0542 / b(\varphi),$$

где  $\varphi$  – азимутальная координата, вдоль которой проводится радиальное распределение. С учетом указанных замечаний формулы для непосредственного вычисления параметров качества БСП<sub>2</sub> совпадают с формулами для БСП<sub>0</sub> из [1]. Предложенная методология была практическим образом опробована на примере анализа качества БСП<sub>2</sub>, формируемых из излучения полупроводникового лазерного модуля (ППЛМ) и гелий-неонового лазера (ЛГН) с использованием кристалла KDP методом, предложенным в [3] (таблица 1) посредством специально разработанной нами компьютерной программы. Расстояние между основанием аксикона и CCD-камерой (плоскостью регистрации) обозначается как координата  $z$ .

## 2. Обсуждение результатов

Проанализировав поперечные распределения интенсивности для различных  $z$ , мы получили пространственные распределения интенсивности, а также зависимости параметров качества БСП<sub>2</sub> от продольной координаты для обоих источников излучения (таблица 2).

Таблица 1 – Вид распределения интенсивности БСП<sub>2</sub> в его поперечном сечении на различных расстояниях от аксикона

Координата $z$ , мм	Вид БСП <sub>2</sub> для ППЛМ	Вид БСП <sub>2</sub> для ЛГН
0		
25		
50		
75		
100		

Из графиков в таблице 2 видно, что при использовании ЛГН распределения интенсивности в поперечных сечениях БСП<sub>2</sub> вдоль радиальных лучей гораздо лучше соответствуют квадрату функции Бесселя 2-го порядка, т. к. модифицированный коэффициент детерминации  $R^2$  для ЛГН гораздо выше во всем исследуемом интервале  $z$ . Параметр постоянства  $k_{ЛГН}^{\sigma}$  БСП<sub>2</sub> при использовании ЛГН также заметно выше, чем для ППЛМ, при малых  $z$ , хотя затем он постепенно уменьшается, и на расстоянии 85 мм от аксикона становится примерно равным параметру постоянства для ППЛМ. Во всем диапазоне  $z$  коэффициент круглости  $k_{К}^{\sigma}$  БСП<sub>2</sub> от ППЛМ претерпевает значительные несистем-

ные колебания, в то время как круглость БСП<sub>2</sub> от ЛГН изменяется незначительно.

Таблица 2 – Сравнение вида зависимостей различных параметров качества БСП<sub>2</sub> от продольной координаты  $z$  для ППЛМ и ЛГН

Параметр	ППЛМ	ЛГН
$k_{\Pi}^{\sigma}$		
$k_K^{\sigma}$		
$R^2$		

### Заключение

В данной работе нами предложены дополнения к методологии оценки качества БСП<sub>0</sub>, позволяющие производить анализ качества БСП<sub>2</sub>. Экспериментально показано, что предложенная процедура позволяет характеризовать и сравнивать качество экспериментальных БСП<sub>2</sub>. Построены экспериментальные зависимости параметров качества БСП<sub>2</sub> от продольной координаты для пучков, формируемых из

излучения ППЛМ и ЛГН с использованием кристалла KDP. Объективно определено, что БСП<sub>2</sub>, сформированный из излучения ЛГН, по всем параметрам качественнее БСП<sub>2</sub> из излучения ППЛМ.

Работа выполнена в рамках задания 1.1 «Разработка методов и устройств диагностики материалов, процессов и изделий в оптическом и терагерцовом диапазонах спектра и их применение для оптической связи, микроскопии и определения характеристик различных объектов», № гос. рег. 20210300 от 23.03.2021 ГПНИ «Фотоника и электроника для инноваций» (2021–2025 г.г.)

## Литература

1. Рыжевич, А. А. Параметры качества бесселевых световых пучков нулевого порядка / А. А. Рыжевич, И. В. Балыкин, Т. А. Железнякова // ЖПС. – 2018. – Т. 85, № 1. – С. 144–153.
2. Зависимость параметров качества неидеальных бесселевых световых пучков от продольной координаты / И. В. Балыкин [и др.] // «Современные проблемы физики», Междунар. школа-конф. молодых учёных и специалистов, Минск, 4-6 ноября 2020 г. / Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси. – Минск, 2020. – С. 41–42.
3. Bessel Light Beam of the Second Order Formation with Uniaxial Crystal / I. V. Balykin [et al.] // Журнал прикладной спектроскопии. – 2016. – Т. 83, спецвыпуск 6-16, ч. 3. – С. 453–454.