РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **246 446**(13) **U1**

(51) МПК
G02B 11/08 (2006.01)
G02B 9/12 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G02B 9/12 (2026.08)

(21)(22) Заявка: **2026123470, 28.07.2026**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.07.2026

Дата регистрации:
12.10.2026

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **28.07.2026**

(45) Опубликовано: **12.10.2026** Бюл. № **29**

Адрес для переписки:
105005, Москва, вн.тер.г. Муниципальный округ Басманный, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1, ФГАОУ ВО "МГТУ", Амелина Ксения Евгеньевна

(72) Автор(ы):
Гулина Юлия Сергеевна (RU),
Ковалев Михаил Сергеевич (RU),
Скрябин Андрей Станиславович (RU),
Булгаков Матвей Алексеевич (RU),
Данилов Вадим Максимович (RU),
Романов Иван Романович (RU),
Саврицкий Александр Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана (национальный исследовательский университет)" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2797938 C1, 13.06.2023. RU 2747034 C2, 23.04.2021. RU 2621782 C1, 07.06.2017. US 10338354 B2, 02.07.2019. US 3944338 A1, 16.03.1976.**

(54) ФОКУСИРУЮЩАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

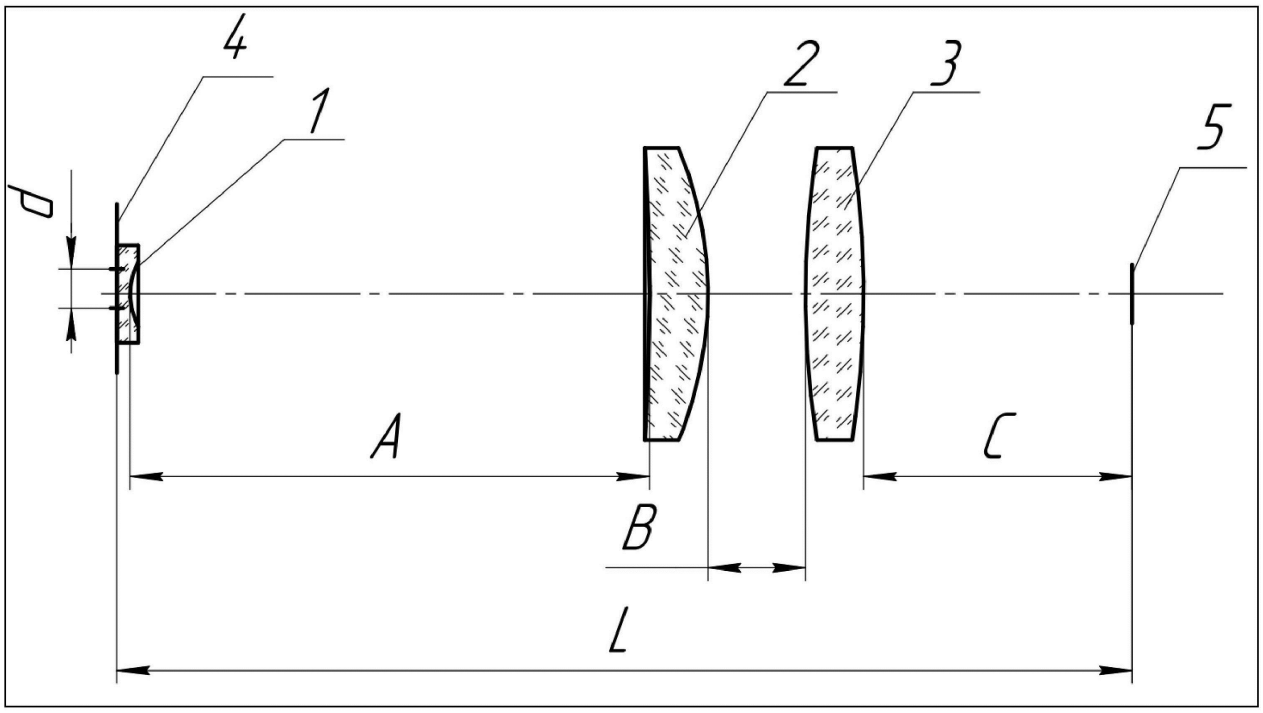
(57) Реферат:

Полезная модель относится к оптическому приборостроению, а именно к системам фокусировки монохроматического когерентного излучения. Устройство системы может быть использовано в лазерных технологических комплексах для прецизионной обработки материалов (маркировка, резка, сварка), в системах лазерной локации, а также в измерительной технике (метрология) для длины волны 1064 нм. Техническая проблема, на решение которой направлена полезная модель, состоит в создании компактной фокусирующей оптической системы для длины волны 1064 нм с увеличенным задним рабочим отрезком, позволяющим вести обработку удаленных объектов или в стесненных условиях без потери качества фокусировки. Технический результат заключается в увеличении отношения заднего рабочего отрезка к эквивалентному фокусному расстоянию до 5,0 с отклонением ±0,2 при обеспечении дифракционно-ограниченного качества фокусировки лазерного излучения с длиной волны 1064 нм. Фокусирующая оптическая система содержит последовательно расположенные по ходу излучения апертурную диафрагму и три линзы: отрицательную плоско-вогнутую линзу, положительный мениск и двояковыпуклую линзу. Первая и вторая линзы обращены друг к другу вогнутыми поверхностями и образуют отрицательный компонент в виде расфокусированной телескопической системы Галилея, а третья линза образует положительный компонент. Система имеет задний рабочий отрезок 250 мм и

RU 246446 U1

RU 246446 U1

эквивалентное фокусное расстояние 50 мм. 3 з.п. ф-лы. 2 ил.



Фиг. 1

RU 2464446 U1

RU 2464446 U1

Полезная модель относится к оптическому приборостроению, а именно к системам фокусировки монохроматического когерентного излучения. Устройство системы может быть использовано в лазерных технологических комплексах для прецизионной обработки материалов (маркировка, резка, сварка), в системах лазерной локации, а также в измерительной технике (метрология) для длины волны 1064 нм.

Из уровня техники известны решения, направленные на фокусировку лазерного излучения. Общей технической проблемой в данной области является противоречие между необходимостью увеличения рабочего расстояния (для защиты оптики от загрязнений и перегрева в зоне обработки) и сохранением дифракционно-ограниченного качества изображения при малых габаритах.

Из патента US 3944338 A (МПК: G02B 13/24; G02B 9/34; опубликовано 1976-03-16) известен дифракционно-ограниченный объектив с фокусным расстоянием 8,17 мм, предназначенный для фокусировки излучения He-Ne лазера с длиной волны 632,8 нм. Система содержит четыре линзы, образующие телескопический блок, и обеспечивает расстояние от последней линзы до точки фокуса около 16,5 мм, что составляет приблизительно два фокусных расстояния. Отношение заднего фокального отрезка к фокусному расстоянию составляет около 2. Указанное решение предназначено для фокусировки лазерного луча на видеодиске.

Недостатком данного решения применительно к заявляемой системе является работа на другой длине волны, меньшее отношение заднего фокального отрезка к фокусному расстоянию и использование четырехлинзовой схемы.

Из PCT заявки WO 2018017396 A1 (МПК: G02B 27/09, G02B 13/08; опубликовано 2018-01-25) известен ахроматический анастигматический анаморфный объектив для лазерной фокусировки в флоуцитометрии. Объектив содержит три элемента: цилиндрическую положительную линзу, цилиндрическую отрицательную линзу и сферическую положительную линзу. Система предназначена для фокусировки нескольких лазеров с различными длинами волн, в том числе 355 нм, 405 нм, 488 нм, 561 нм и 640 нм. Отношение заднего фокального отрезка к фокусному расстоянию составляет приблизительно 2,2 с отклонением плюс-минус 0,2.

Недостатком данного решения является иное назначение, анаморфная схема построения, работа в другом диапазоне длин волн и отсутствие признаков, обеспечивающих отношение заднего рабочего отрезка к эквивалентному фокусному расстоянию, равное 5,0, для лазерного излучения с длиной волны 1064 нм.

Из полезной модели CN 203025409 U (МПК: G02B 13/00; опубликовано 2013-06-26) известен сканирующий телецентрический объектив, предназначенный для лазерной резки и гравирования и рассчитанный на работу с лазерным излучением с длиной волны 1064 нм. Конструкция выполнена по четырехлинзовой схеме, в которой первая и вторая линзы имеют отрицательную оптическую силу, а третья и четвертая линзы имеют положительную оптическую силу. Система предназначена для сканирующей лазерной обработки, обеспечивает поле сканирования порядка 20° и имеет фокусное расстояние 255 мм.

Недостатком данного решения применительно к заявляемой системе является то, что оно относится к сканирующей оптике, а не к точечной фокусировке лазерного излучения на поверхности образца, а также имеет большее число линз и значительно большее фокусное расстояние.

Из полезной модели CN 213764515 U (МПК: B23K 26/06; опубликовано 2021-07-23) известен объектив с увеличенным рабочим расстоянием для лазерной микромеханической обработки. Конструкция содержит пять линз: двояковогнутую

отрицательную линзу, плосковыпуклую положительную линзу, менисковую отрицательную линзу, двояковыпуклую положительную линзу и менисковую отрицательную линзу; за ними расположено плоское защитное стекло. Объектив предназначен для фокусировки лазерного излучения с длинами волн от 1030 до 1064 нм. Фокусное расстояние системы составляет 10 мм, задний рабочий отрезок - 30 мм, отношение рабочего расстояния к фокусному расстоянию составляет 3.

Недостатком данного решения является более сложная пятилинзовая конструкция, а также меньшее отношение заднего рабочего отрезка к фокусному расстоянию по сравнению с заявляемой системой.

Наиболее близким аналогом (прототипом) заявляемой полезной модели является решение в полезной модели патента CN 220739796 U (МПК: B23K 26/04, B23K 26/06; опубликовано 2024-04-09), поскольку оно, как и заявляемая фокусирующая оптическая система, относится к фокусирующим оптическим системам для лазерного излучения ближнего инфракрасного диапазона, предназначено для лазерной обработки и направлено на получение увеличенного рабочего расстояния при сравнительно малом фокусном расстоянии. Система содержит четыре линзы: первую двояковогнутую линзу с отрицательным фокусным расстоянием, вторую двояковыпуклую линзу с положительным фокусным расстоянием, третью двояковыпуклую линзу с положительным фокусным расстоянием и четвертую двояковыпуклую линзу с положительным фокусным расстоянием. Система предназначена для фокусировки лазерного излучения с длинами волн от 1030 до 1090 нм, имеет фокусное расстояние 45 мм и задний рабочий отрезок 77 мм. Отношение рабочего расстояния к фокусному расстоянию составляет около 1,7.

Однако данному техническому решению присущ ряд существенных недостатков, которые не позволяют применять его в условиях, требующих максимально большого удаления зоны обработки от оптики. Во-первых, использование четырехлинзовой схемы объективно усложняет конструкцию, что приводит к увеличению трудоемкости изготовления, росту стоимости финального изделия, а также к неизбежным оптическим потерям на пропускание, возникающим на каждой границе раздела сред «стекло-воздух». Во-вторых, ключевым ограничением прототипа является его недостаточное для современных задач отношение заднего рабочего отрезка к эквивалентному фокусному расстоянию, составляющее всего 1,7. Данное ограничение критически сужает возможности применения устройства, поскольку не позволяет установить между последней линзой и обрабатываемой поверхностью массивное защитное окно, необходимое для защиты оптики от продуктов эрозии и пыли в агрессивных условиях резки. В-третьих, в патенте CN 220739796 U отсутствует совокупность признаков, которая обеспечивала бы сохранение дифракционно-ограниченного качества фокусировки при столь малых значениях фокусного расстояния и малом продольном габарите системы.

В известных решениях увеличение заднего рабочего отрезка, как правило, достигается за счет усложнения линзовой схемы (увеличения числа элементов), однако данные способы не позволяют одновременно решить задачу уменьшения габаритов системы без потери качества изображения и без увеличения оптических потерь. Таким образом, существует объективная техническая потребность в создании малогабаритной фокусирующей оптической системы, обладающей конструктивными признаками, позволяющими обеспечить увеличенное (более 3 единиц) отношение заднего рабочего отрезка к фокусному расстоянию при одновременном сохранении дифракционно-ограниченного качества фокусировки на длине волны 1064 нм и использовании

минимально возможного количества оптических элементов.

Техническая проблема, на решение которой направлена полезная модель, состоит в создании компактной фокусирующей оптической системы для длины волны 1064 нм с увеличенным задним рабочим отрезком, позволяющим вести обработку удаленных объектов или в стесненных условиях без потери качества фокусировки.

Технический результат, достигаемый при реализации полезной модели, заключается в обеспечении отношения заднего рабочего отрезка ($S'_{F'}$) к эквивалентному фокусному расстоянию (f'), равного 5,0 плюс-минус 0,2 при одновременном обеспечении дифракционно-ограниченного качества фокусировки (среднеквадратичное отклонение волнового фронта не более λ/14), упрощении конструкции за счет сокращения количества линз до трех при коррекции сферической аберрации, комы и астигматизма по сравнению с четырехлинзовыми аналогами, снижает массу, габариты и стоимость системы. Система может быть компактно размещена в едином общем корпусе, что полностью отвечает требованиям к полезной модели. Отношение заднего рабочего отрезка к эквивалентному фокусному расстоянию, равному 5,0 плюс-минус 0,2 в 2-3 раза превышает соответствующее значение известных аналогов.

Указанный технический результат достигается тем, что устройство фокусирующей оптической системы для фокусировки лазерного излучения с длиной волны 1064 нм содержит последовательно расположенные по ходу излучения апертурную диафрагму и три линзы. Первая линза выполнена отрицательной плоско-вогнутой, вторая линза выполнена в виде положительного мениска, третья линза выполнена двояковыпуклой. При этом первая и вторая линзы обращены друг к другу вогнутыми поверхностями, расположенными на осевом расстоянии А одна от другой, и образуют отрицательный компонент с оптической силой Φ_{12}, равной минус 0,0116 $мм^{-1}$, выполненный в виде расфокусированной телескопической системы Галилея, а третья линза образует положительный компонент с оптической силой Φ_3, равной 0,0063 $мм^{-1}$, при этом отношение заднего рабочего отрезка к эквивалентному фокусному расстоянию составляет 5,0±0,2, при габаритных размерах системы примерно в 2,2 раза меньше рабочего отрезка при дифракционно-ограниченном качестве фокусировки, при котором среднеквадратичное отклонение волнового фронта от идеальной сферической волны не превышает λ/14 при λ, равной 1064 нм.

Эквивалентное фокусное расстояние f' составляет 50 мм плюс-минус 2 мм, задний рабочий отрезок С составляет 250 мм с отклонением плюс-минус 5 мм. Диаметр апертурной диафрагмы d составляет 6,5 мм плюс-минус 0,1 мм, осевое расстояние А между первой и второй линзами составляет 80 мм плюс-минус 0,1 мм, осевое расстояние В между второй и третьей линзами составляет 15 мм с отклонением плюс-минус 0,1 мм. Линзы выполнены из оптического стекла марки КУ-1 с показателем преломления 1,4496 плюс-минус 0,002 при длине волны 1064 нм.

Полезная модель проиллюстрирована графическими материалами, где:

- на фиг. 1 показана оптическая схема устройства фокусирующей оптической системы;
- на фиг. 2 показана диаграмма пятна рассеяния фокусирующей оптической системы для точки на оси и на краю поля.

На фиг. 1 позициями обозначены: 1 - отрицательная плоско-вогнутая линза; 2 - линза, выполненная в виде положительного мениска; 3 - положительная двояковыпуклая линза; 4 -апертурная диафрагма; 5 - плоскость изображения (фокальная плоскость).

На фиг. 1 буквенными обозначениями показаны параметры конструкции: d - диаметр апертурной диафрагмы; А - осевое расстояние между линзами 1 и 2; В - осевое расстояние

между линзами 2 и 3; C - задний рабочий отрезок (осевое расстояние от последней поверхности линзы 3 до плоскости изображения 5); L - осевое расстояние от апертурной диафрагмы 4 до плоскости изображения 5.

Линзы 1 и 2 обращены друг к другу вогнутыми поверхностями с осевым расстоянием A, образуя отрицательный компонент с оптической силой Φ_{12}, равной минус 0,0116 $мм^{-1}$. Линза 3 образует положительный компонент с оптической силой Φ_3, равной 0,0063 $мм^{-1}$. Осевое расстояние B между отрицательным и положительным компонентами выбрано из условия обеспечения целевого отношения заднего рабочего отрезка к эквивалентному фокусному расстоянию $S'_{F'}/f'$.

Система обеспечивает дифракционно-ограниченное качество фокусировки при выполнении условия: W_{RMS} - не более $\lambda/14$ при λ=1064 нм, где W_{RMS} - среднеквадратичное отклонение волнового фронта от идеальной сферической волны в пределах поля зрения плюс-минус 0,07°.

Пример 1.

В конкретном примере выполнения, показанном на фиг. 1, перед линзой 1 по ходу излучения расположена апертурная диафрагма 4, а плоскость 5 является плоскостью изображения. В указанном примере диаметр d составляет 6,5 мм, расстояние A составляет 80 мм плюс-минус 0,1 мм, расстояние B составляет 15 мм плюс-минус 0,1 мм, расстояние C составляет 250 мм, расстояние L составляет 365 мм.

Для длины волны 1064 нм система является дифракционно-ограниченной. Диаграмма пятна рассеяния системы показана на фиг. 2. Аберрационный среднеквадратический радиус пятна рассеяния для точки на оси составляет 3,7 мкм, для края поля - 5,8 мкм. Геометрический радиус пятна рассеяния составляет соответственно 6,8 мкм и 9,7 мкм при диаметре кружка Эйри - 19,4 мкм (при диаметре апертурной диафрагмы - 6,5 мм). Параметры линз фокусирующей оптической системы приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	Фокусное расстояние, мм	Передний рабочий отрезок, мм	Задний рабочий отрезок, мм
1	минус 23,35	23,35	минус 24,66
2	151,76	минус 144,46	152,91
3	158,36	минус 155,23	155,23

Материал линз - оптическое стекло марки КУ-1 с показателем преломления 1,4496 плюс-минус 0,002 при длине волны 1064 нм.

Допустимые отклонения параметров, не приводящие к выходу за пределы дифракционно-ограниченного качества (W_{RMS} - не более $\lambda/14$):

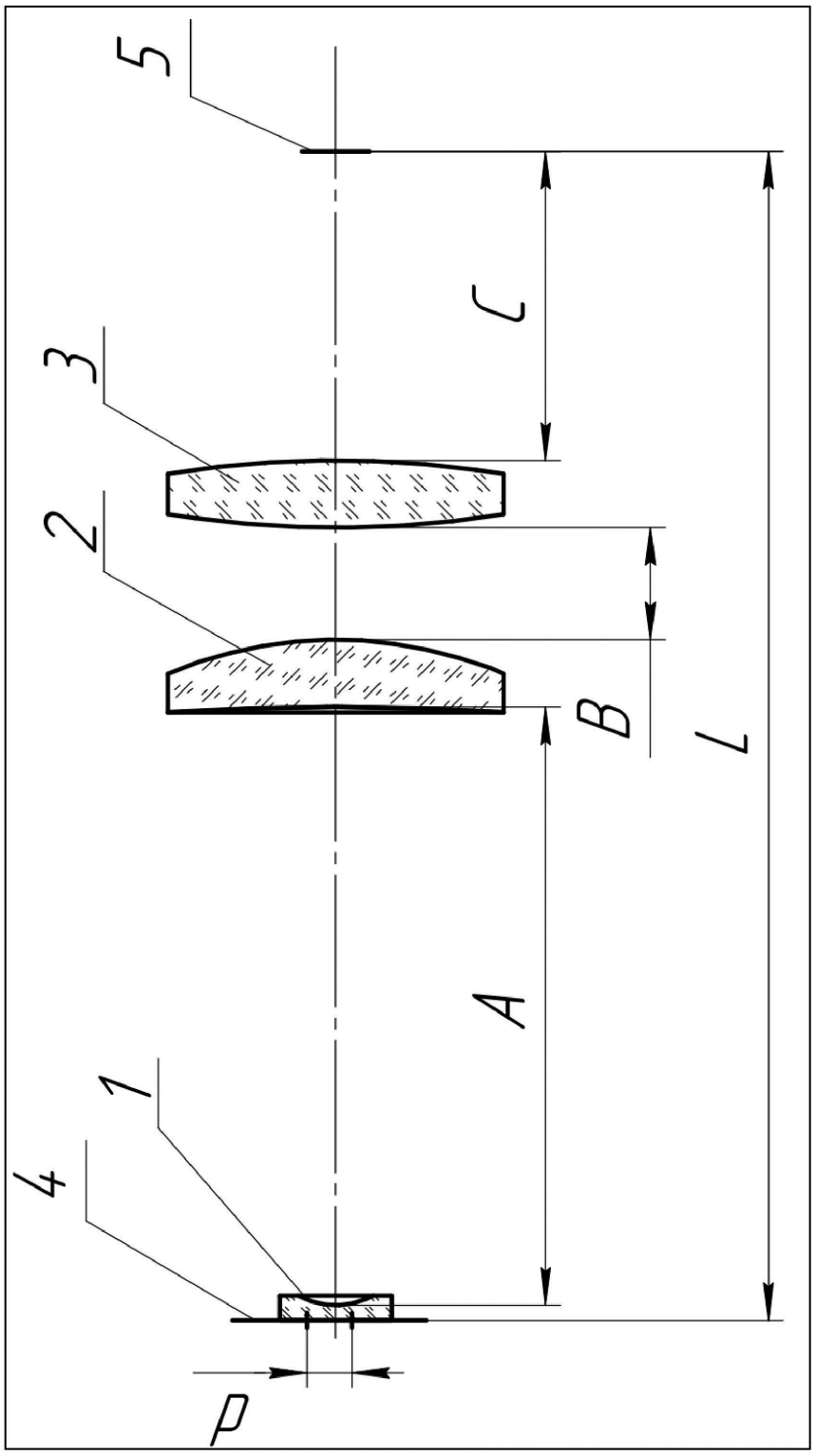
- радиусы кривизны поверхностей: плюс-минус 0,1 мм;
- осевые расстояния A, B: плюс-минус 0,1 мм;
- толщины линз: плюс-минус 0,05 мм;
- показатель преломления материала: плюс-минус 0,002.

(57) Формула полезной модели

Фокусирующая оптическая система для лазерного излучения с длиной волны 1064 нм, содержащая последовательно расположенные по ходу излучения апертурную диафрагму и три линзы, отличающаяся тем, что все линзы имеют показатель преломления 1,4496±0,002 при длине волны 1064 нм, первая линза выполнена отрицательной плосковогнутой, вторая линза выполнена в виде положительного

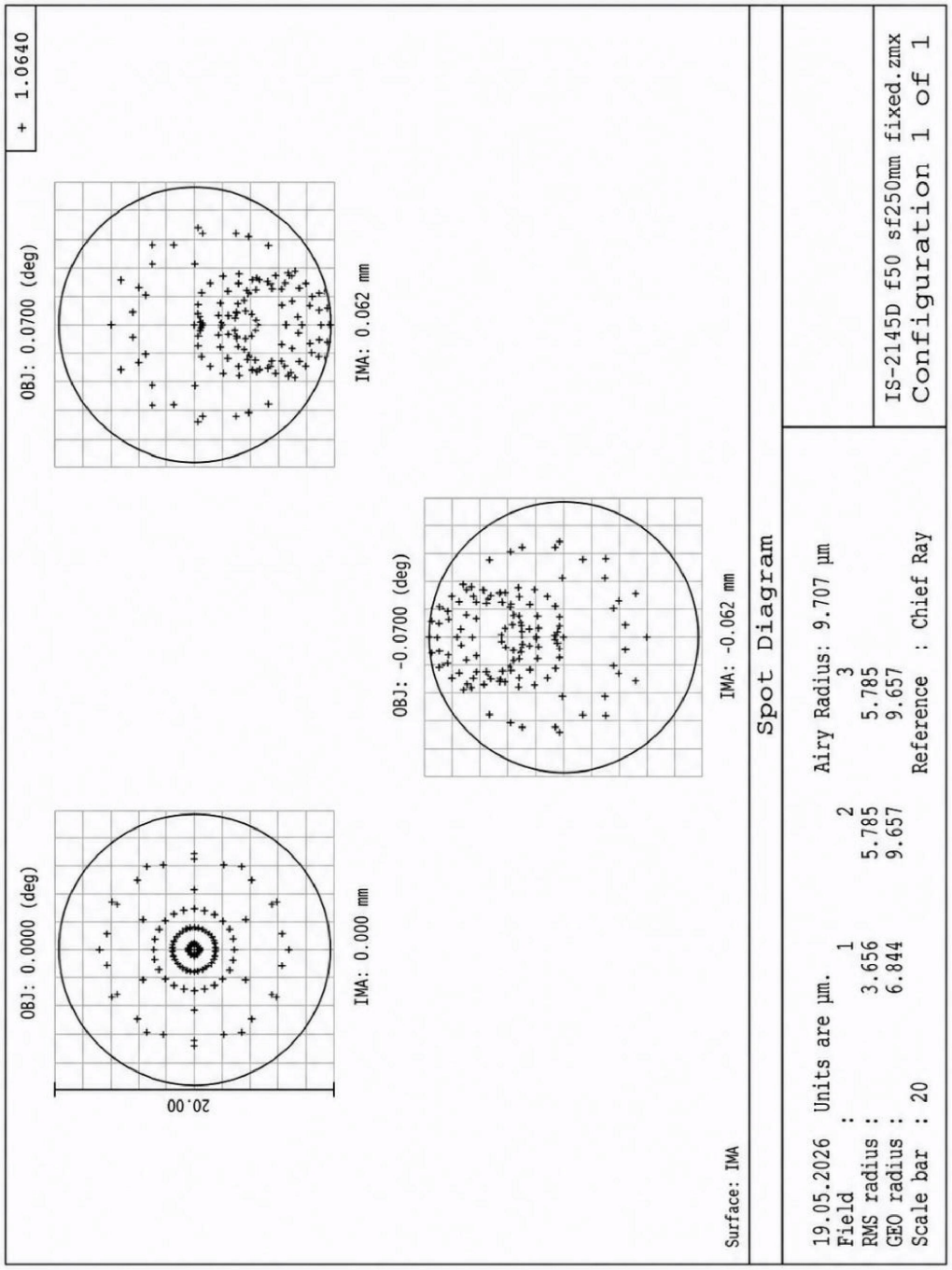
мениска, третья линза выполнена двояковыпуклой положительной, при этом первая и вторая линзы обращены друг к другу вогнутыми поверхностями, расположенными на осевом расстоянии А одна от другой, и образуют отрицательный компонент с оптической силой Φ_{12}, равной минус 0,0116 мм$^{-1}$, выполненный в виде расфокусированной телескопической системы Галилея, а третья линза образует положительный компонент с оптической силой Φ_3, равной 0,0063 мм$^{-1}$, при этом отношение заднего рабочего отрезка к эквивалентному фокусному расстоянию составляет 5,0±0,2, диаметр апертурной диафрагмы d составляет 6,5 мм ±0,1 мм, осевое расстояние А между первой и второй линзами составляет 80 мм ±0,1 мм, осевое расстояние В между второй и третьей линзами составляет 15 мм с отклонением ±0,1 мм.

1



Фиг. 1

2


+ 1.0640
OBJ: 0.0700 (deg)
IMA: 0.062 mm
OBJ: -0.0700 (deg)
IMA: -0.062 mm
OBJ: 0.0000 (deg)
IMA: 0.000 mm
20.00
Surface: IMA
Spot Diagram
19.05.2026 Units are µm.
Field : 1 2 3
RMS radius : 3.656 5.785 5.785
GEO radius : 6.844 9.657 9.657
Scale bar : 20
Airy Radius: 9.707 µm
Reference : Chief Ray
IS-2145D f50 sf250mm fixed.zmx
Configuration 1 of 1

Фиг. 2