КОРРЕКЦИЯ ВТОРИЧНОГО СПЕКТРА ОБЪЕКТИВОВ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИХ СИСТЕМ СТЕКЛАМИ С НОРМАЛЬНЫМ ХОДОМ ДИСПЕРСИИ

CORRECTION OF SECONDARY SPECTRUM OF TELESCOPIC SYSTEM'S LENSES BY GLASSES WITH NORMAL COURCE OF DISPERSION

УДК 535.31

Страхов Андрей Александрович, преподаватель кафедры ОПД,
Московское высшее общевойсковое командное училище, г. Москва

Strahov A.A. andronas@yandex.ru

Аннотация

В статье обсуждается возможность коррекции вторичного спектра в объективах телескопических систем (дублетах и триплетах с малыми воздушными промежутками) с использованием стекол с нормальным ходом дисперсии. Показана возможность существенного уменьшения вторичного спектра этих объективов за счет тщательного подбора оптических материалов. Приведены примеры возможных комбинаций оптических стекол и конструктивные параметры некоторых оптических схем объективов с указанием расчетных величин продольной хроматической аберрации.

Annotation

The article discusses the possibility of correcting the secondary spectrum in the lenses of telescopic systems (doublets and triplets with small air spaces) using glasses with a normal course of dispersion. The possibility of significantly reducing the secondary spectrum of these lenses due to careful selection of optical materials

is shown. Examples of possible combinations of optical glasses and design parameters of some optical schemes of lenses are given, indicating the calculated values of longitudinal chromatic aberration.

Ключевые слова: объектив, вторичный спектр, хроматизм положения, коррекция вторичного спектра, стекло с нормальным ходом дисперсии.

Keywords: lens, secondary spectrum, longitudinal chromatic aberration, correction of secondary spectrum, glass with a normal course of dispersion.

Коррекция хроматизма положения, в общем случае, связана с тщательным подбором оптических материалов, на базе которых будет строиться оптическая схема объектива [1-4].

В зависимости от предъявляемых к уровню коррекции требований, объектив может содержать от двух и более линз, изготовленных из двух или более оптических материалов.

Задача сведения в одном фокусе двух длин волн (ахроматизация) решается довольно просто с помощью объектива-дублета. Причем, материалы, из которых сделаны линзы, могут быть обычными, т.е. с «нормальной» дисперсией. При этом помимо ахроматизации, удается также хорошо исправить сферическую аберрацию и кому [1, 2].

В результате ахроматизации, однако, остаточный хроматизм, называемый вторичным спектром, имеет достаточно большую величину, составляющую обычно 1/2000 часть фокусного расстояния объектива [9].

Коррекция вторичного спектра с помощью «нормальных» стекол принципиально возможна [2, 6, 7], однако такие оптические системы (в частности, объективы) получаются громоздкими в силу необходимости использования больших воздушных промежутков между компонентами (диалиты, триалиты), сложными в юстировке и достаточно дорогими. Кроме того, величина остаточного хроматизма положения в таких системах обычно не лучше 1/3000 фокусного расстояния объектива [7].

Исследования, проведенные автором и коллегами [4,8], показывают, однако, что, не используя «особые» стекла, можно существенно улучшить хроматическую коррекцию в рамках схем дублетов (в том числе с одной расщепленной линзой) и триплетов с малыми воздушными промежутками.

В статье [4] был предложен алгоритм отбора и определен перечень «нормальных» оптических стекол, комбинации которых, на взгляд авторов, весьма перспективны для коррекции вторичного спектра.

Величина вторичного спектра для дублета и дублета с расщепленной линзой оценивалась по формуле [1]:

$$\Delta S_{Fd} = F_d \frac{\Delta P_{Fd}}{\Delta \nu_d},$$

где:

ΔS_{Fd} – величина продольного вторичного спектра относительно фокуса F_d;

F_d – фокусное расстояние для линии d;

ΔP_{Fd} – разность относительных частных дисперсий P_{Fd} двух оптических материалов;

$\Delta \nu_d$– разность чисел Аббе двух оптических материалов.

В качестве примера тонкого расклеенного дублета с укороченным вторичным спектром приведем рассчитанный автором объектив на стеклах из упомянутого выше перечня: S-PHM52 производства Ohara и СТК-19 производства Лыткаринского завода оптического стекла (ЛЗОС).

Диаметр входного зрачка объектива 102мм, фокусное расстояние 1027мм. Схема дублета и его конструктивные данные представлены на рис.1 и рис.2. соответственно. Остаточный хроматизм положения составил 97,55мкм, или 1/10532 часть фокусного расстояния, что существенно меньше вторичного спектра классических дублетов. Сферическая аберрация и кома исправлены. Оптимизация схемы дублета проводилась в Zemax [5].

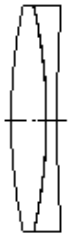

Рисунок 1 Схема тонкого расклеенного дублета.

Lens Data Editor

Edit Solves Options Help

Surf:Type		Radius		Thickness		Glass		Semi-Diameter		Conic
OBJ	Standard	Infinity		Infinity				0.000000		0.000000
STO*	Standard	261.098534	V	17.000000		S-PHM52	S	55.000000	U	0.000000
2*	Standard	-252.633535	V	0.174510	V			55.000000	U	0.000000
3*	Standard	-257.991940	V	5.000000		LZ_CTK19		55.000000	U	0.000000
4*	Standard	743.969422	V	995.365706	V			55.000000	U	0.000000
IMA	Standard	Infinity						0.012853		0.000000

Рисунок 2 Конструктивные данные тонкого расклеенного дублета.

На рисунке 3 показана хроматическая кривая объектива.

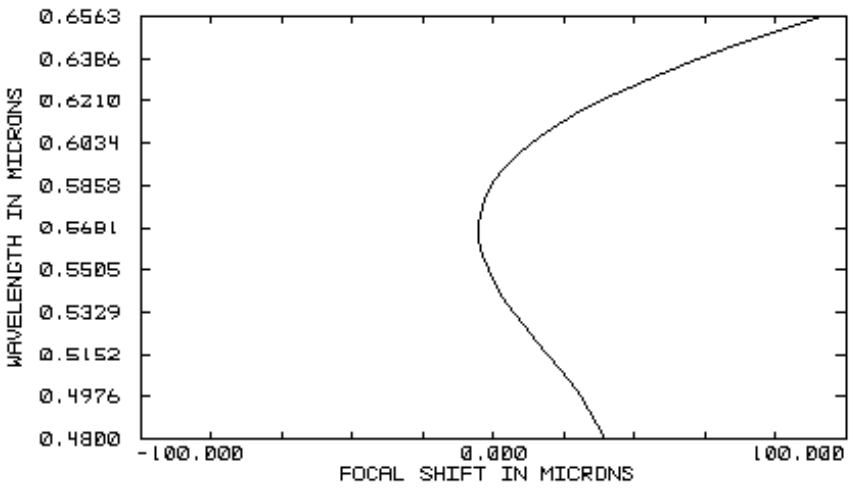

Рисунок 3 Продольная хроматическая аберрация тонкого расклеенного дублета.

Примером дублета с расщепленной линзой [1] может служить следующая схема: ТК-2 - СТК-9 - ТК-2 (Рис.4). Конструктивные данные объектива приведены на рис.5. При аналогичных внешних параметрах

(диаметр входного зрачка и фокусное расстояние) объектив дает для зоны зрачка y=0,707 остаточный хроматизм положения 83,86мкм (рис.6), что составляет 1/12175 часть фокусного расстояния. Хроматическая кривая объектива представлена на рис.6. Сферическая аберрация и кома исправлены.

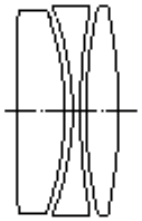

Рисунок 4 Схема расклеенного дублета с расщепленной линзой.

Lens Data Editor

Edit Solves Options Help

Surf:Type		Radius		Thickness		Glass		Semi-Diameter	
OBJ	Standard	Infinity		Infinity				Infinity	
STO*	Standard	2251.044238	V	24.931684	V	LZ_TK2		54.000000	U
2*	Standard	-155.474818	V	2.204093	V			54.000000	U
3*	Standard	-151.623441	V	4.000600	V	LZ_CTK9		54.000000	U
4*	Standard	337.082366	V	0.474282	V			54.000000	U
5*	Standard	270.703989	V	16.997714	V	LZ_TK2	P	54.000000	U
6*	Standard	-290.206644	V	1023.527033	V			54.000000	U
IMA	Standard	Infinity						4.463693	

Рисунок 5 Конструктивные данные расклеенного дублета с расщепленной линзой.

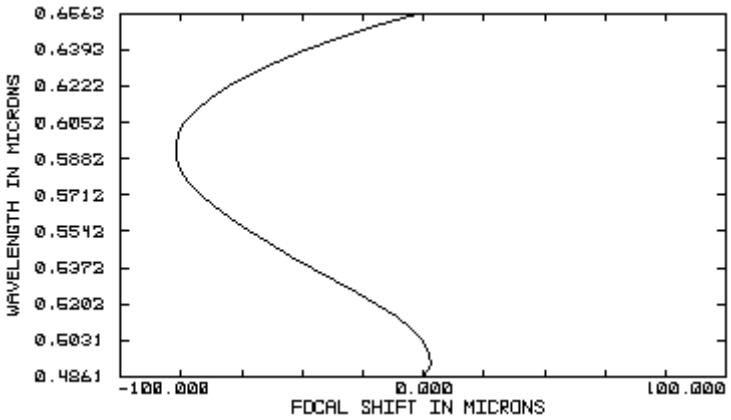

Рисунок 6 Продольная хроматическая аберрация расклеенного дублета с расщепленной линзой.

Как известно, для коррекции хроматизма положения в схеме триплета с тремя разными стеклами, все стекла (точки) на графике P – V не должны лежать на одной прямой [2]. Данному условию удовлетворяет, например, триада БК-10, СТК-19, S-PHM52 из нашего перечня.

Схема такого триплета и его конструктивные параметры приведены на рис.7 и рис.8 соответственно.

Диаметр входного зрачка объектива 100мм, относительное отверстие 1:9. Продольная хроматическая аберрация объектива для зоны зрачка 0,707 составила 17,55мкм или 1/51282 часть фокусного расстояния объектива. Сферическая аберрация и кома исправлены.

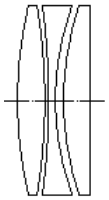

Рисунок 7 Схема триплета.

Lens Data Editor

Edit Solves Options Help

Surf:Type		Radius		Thickness		Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard	Infinity		Infinity			Infinity
STO	Standard	227.146578	V	14.000000		LZ_BK10	50.024334
2	Standard	-314.598484	V	0.200000			49.673587
3	Standard	-394.775879	V	3.500000		LZ_CTK19	49.444255
4	Standard	146.626138	V	4.203214	V		48.418985
5	Standard	156.723938	V	14.000000		S-PHM52	48.962842

Рисунок 8 Конструктивные данные триплета.

На рисунке 9 показана хроматическая кривая для объектива-триплета.

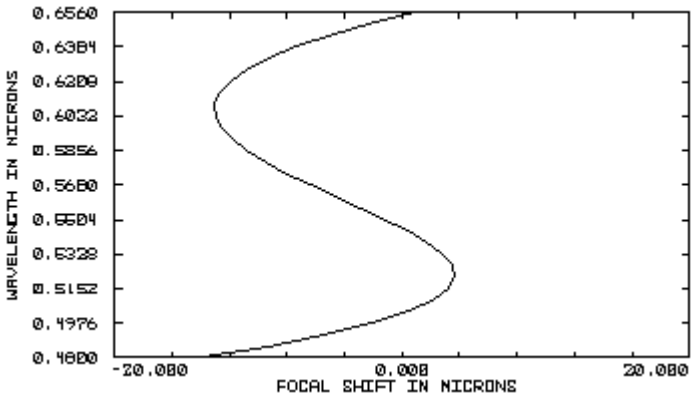

Рисунок 9 Продольная хроматическая аберрация триплета.

В заключении отметим, что тщательный подбор оптических материалов с нормальным ходом дисперсии позволяет существенно уменьшить вторичный спектр в схемах дублетов и дублетов с расщепленной линзой, а

также уменьшить остаточный хроматизм положения в схеме триплета с малыми воздушными промежутками.

Литература

1. Максутов Д.Д. Астрономическая оптика. Л., Наука, 1979, 395с.
2. Попов Г.М. Современная астрономическая оптика. М.; Наука, 1988, 192с.
3. Чуриловский В.Н. Теория хроматизма и аберраций третьего порядка. «Машиностроение», Ленинград, 1966. – 312 с.
4. Дмитерко Р.А., Страхов А.А. Исследование коррекционных свойств апохроматов на стеклах с нормальной дисперсией. // StudNet / - 2020.- Том3 №11.
5. ZEMAX 13 R2 SP4x64. Optical Design Program. 2013.
6. C.G. Wynne, Opto Aeta, 25 (1978), p. 627.
7. Грамматин А.П., Цыганок Е.А. Особенности вторичного спектра объективов коллиматоров, работающих в диапазоне длин волн 400-900нм. // Изв. Вузов. Приборостроение, 2011. Т.54, №9.
8. Патент на полезную модель 185717 Российская Федерация, МПК7 G 02 B 9/16, G 02 B 11/08. Двухкомпонентный апохроматический объектив. / Страхов А.А., Фоминский В.Ю., Романов Р.И., Фоминский Д.В.; заявитель и патентообладатель Москва. НИЯУ МИФИ. – № 2018132324, заявл. 11.09.18; опубл. 14.12.18, Бюл. № 35. – 2 с.
9. Заказнов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.И. Теория оптических систем. М., Машиностроение, 1992, 448с.

Literature

1. Maksutov D.D. Astronomical optics. L., Science, 1979, 395s.
2. Popov G.M. Modern astronomical optics. M .; Science, 1988, 192s.
3. Churilovsky V.N. Theory of chromatism and third-order aberrations. "Mechanical Engineering", Leningrad, 1966. - 312 p.

4. Dmyterko R.A., Strakhov A.A. Study of the correction properties of apochromats on glasses with normal dispersion. // StudNet / - 2020.- Volume 3 №11.

5. ZEMAX 13 R2 SP4x64. Optical Design Program. 2013.

6. C.G. Wynne, Opto Aeta, 25 (1978), p. 627.

7. Grammatin A.P., Tsyganok E.A. Features of the secondary spectrum of collimator objectives operating in the 400-900nm wavelength range. // Izv. Universities. Instrument making, 2011. Vol.54, No. 9.

8. Patent for utility model 185717 Russian Federation, MPK7 G 02 B 9/16, G 02 B 11/08. Two-component apochromatic lens. / Strakhov A.A., Fominsky V.Yu., Romanov R.I., Fominsky D.V .; applicant and patentee Moscow. NRNU MEPhI. - No. 2018132324, app. 09/11/18; publ. 12/14/18, Bul. No. 35. - 2 p.

9. Zakaznov N.P., Kiryushin S.I., Kuzichev V.I. Theory of optical systems. M., mechanical engineering, 1992, 448s.