



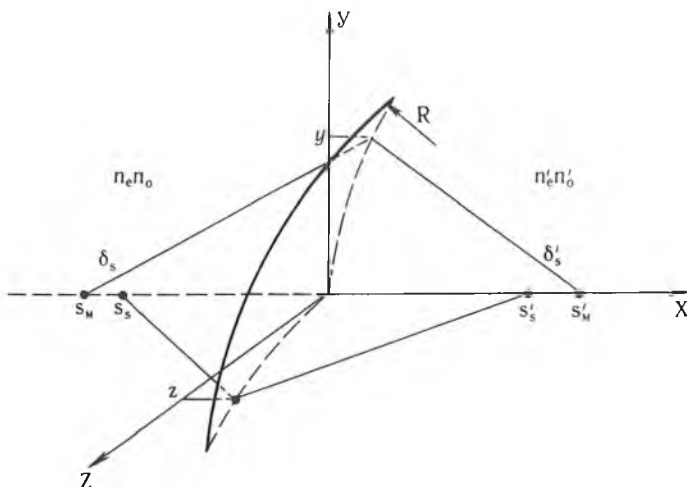
УДК 535.31

В. В. ЕРМАКОВ, И. В. СТАШКЕВИЧ

ПЕРВИЧНЫЙ АСТИГМАТИЗМ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, СОДЕРЖАЩИХ АНИЗОТРОПНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

An optical system containing anisotropic components has been considered. It has been shown that such components contribute to the primary astigmatism for axial object points. The value of this astigmatism has been calculated. Some ways for its compensation have been proposed.

Рассмотрим оптическую систему, состоящую из двулучепреломляющих сред, оптические оси которых параллельны друг другу. На рисунке показаны две такие среды, разделенные сферической поверхностью. Выберем два параксиальных луча. Один распространяется в плоскости кристаллической оси YOX (меридианальный), другой в плоскости ZOX (сагитальный). Показатель преломления для сагитального луча будет равен n_e независимо от направления распространения луча, поэтому сагитальные лучи будут распространяться так же, как и в изотропной среде с показателем преломления n_e . Показатель преломления для меридианального луча будет зависеть от направления его распространения. Все это может привести к тому, что сагитальные и меридианальные лучи будут фокусироваться в разных точках, т. е. к возникновению астигматизма даже для осевой точки предмета.



Вычислим астигматизм. В соответствии с [1] закон преломления для параксиального луча в меридианальной плоскости будет иметь вид:

$$\frac{n_o'^2}{n_e'} \cos \beta' - \frac{n_o^2}{n_e} \cos \beta = \frac{n_e' - n_e}{R} y, \quad (1)$$

в сагитальной плоскости:

$$n_e' \cos \gamma' - n_e \cos \gamma = \frac{n_e' - n_e}{R} z. \quad (2)$$

Здесь и далее величины без штриха относятся к средам до прелом-

ления, со штрихом — после; α, β, γ — углы луча с осями X, Y, Z соответственно; y, z — координаты пересечения луча с преломляющей поверхностью; R — радиус преломляющей поверхности.

Разделив формулу (1) на y , а формулу (2) на z , с учетом соотношений параксиальной оптики $y/\cos \beta = s_m$, $z/\cos \gamma = s_s$, получаем:

$$\frac{n_e + \epsilon}{s_m} - \frac{n'_e + \epsilon'}{s'_m} = \frac{n_e - n'_e}{R}, \quad (3)$$

$$\frac{n_e}{s_s} - \frac{n'_e}{s'_s} = \frac{n_e - n'_e}{R}, \quad (4)$$

где $\epsilon = (n_0^2 - n_e^2) / n_e$; s_s, s_m — меридианальный и сагитальный фокус пучка.

Вычисление астигматизма $\delta s = s_m - s_s$ проведем с помощью метода для вычисления хроматизма положения [2]. Из (3) вычтем (4), при этом предполагается, что $\delta s \ll s = s_m \approx s_s$ и соответственно $y \approx z = h$:

$$\frac{n'_e \delta s'}{s'^2} - \frac{n_e \delta s}{s^2} = \frac{\epsilon'}{s'} - \frac{\epsilon}{s}. \quad (5)$$

Чтобы перейти к общему случаю системы, состоящей из p поверхностей, замечаем, что

$$\delta s'_k = \delta s_{k+1}; \quad \epsilon'_k = \epsilon_{k+1}; \quad h_k / s'_k = \alpha'_k = h_k / s_{k+1} = \alpha_{k+1}. \quad (6)$$

Применив формулу (5) для всех поверхностей, умножая обе ее части на h_k^2 и складывая все полученные уравнения с учетом (6), имеем:

$$n'_{ep} \alpha_p'^2 \delta s'_p - n_{e1} \alpha_1^2 \delta s_1 = - \sum_1^p h_k (\epsilon'_k \alpha'_k - \epsilon_k \alpha_k). \quad (7)$$

В левой части величина δs_1 , относящаяся к точке-предмету, обычно равна нулю. Тогда формула (7) принимает окончательный вид:

$$\delta s'_p = - \frac{1}{n'_{ep} \alpha_p'^2} \sum_1^p h_k (\epsilon'_k \alpha'_k - \epsilon_k \alpha_k). \quad (8)$$

В качестве примера рассмотрим астигматизм, создаваемый одной кристаллической линзой с показателями преломления n_o, n_e в воздухе. При этом $\epsilon'_1 = \epsilon_2 = \epsilon = (n_o^2 - n_e^2) / n_e$, $\epsilon_1 = \epsilon_2' = 0$, $n_{e1} = n_{e3} = 1$, с учетом (6) формула (8) принимает вид:

$$\delta s_3 = \epsilon \frac{(h_2 - h_1) \alpha_2}{\alpha_3^2} = \epsilon d (\alpha_2^2 / \alpha_3^2), \quad (9)$$

где $(h_1 - h_2) / \alpha_2 = d$ — толщина кристаллической линзы.

Из формулы (9) видно, что астигматизм кристаллической линзы можно устранить только в случае, если параксиальный луч проходит по линзе параллельно оптической оси линзы ($\alpha_2 = 0$) (толщина линзы d не может быть равной 0). Кроме того, знак астигматизма зависит только от знака двулучепреломления кристалла и не зависит от конфигурации линзы, ее оптической силы и положения предметной точки. Все это приводит к тому, что в оптической системе, кристаллические компоненты которой выполнены из одного и того же материала, астигматизм будет увеличиваться с увеличением количества анизотропных компонентов. Устранение его возможно только в том случае, когда устранен астигматизм каждого компонента. Скомпенсировать астигматизм системы можно применением компонентов из кристаллов с различными знаками анизотропии или введением в систему цилиндрической линзы.

1. Г а л ь п е р н Д. Ю. Геометрическая оптика кристаллов // Труды ГОИ. 1980. Т. 47. Вып. 181.

2. С л ю с а р е в Г. Г. Методы расчета оптических систем. Л., 1969.