

ორლინზიანი კოლიმაციური სისტემა ერთი ასფერული ზედაპირით

დავით შალამბერიძე, ირაკლი კორძაძია

სსიპ ინსტიტუტი „ოპტიკა“

რეზიუმე

სტატიაში აღწერილია ორ ლინზიან კოლიმაციურ სისტემაში პირველი, სფერული ლინზის ცნობილი ოპტიკური პარამეტრების მიხედვით მეორე, ასფერული ლინზის ოპტიკური პარამეტრების გათვლის მეთოდის, რაც საშუალებას იძლევა დაიწეროს ასფერული პროფილის პარამეტრული განტოლება ცხადი სახით.

საძიებო სიტყვები: კოლიმაცია, ფოკუსური მონაკვეთი, ასფერული ზედაპირი

ოპტიკის და, ზოგადად, ტექნიკის ბევრ სფეროში მეტად მნიშვნელოვანია პირველადი სხივის კოლიმირება. ძირითადად, ამისთვის გამოიყენება ორი და მეტი ლინზისგან შედგენილი ოპტიკური სისტემები და პარაბოლური სარკეები. სტატიაში წარმოდგენილია მონოქრომატული სხივის კოლიმირების ორ ლინზიან ოპტიკურ სისტემაში მეორე ასფერული ლინზის ოპტიკური პარამეტრების გათვლის მეთოდის პირველი სფერული ლინზის ცნობილი ოპტიკური პარამეტრების მიხედვით. ამასთან, მეორე ლინზის წინა ზედაპირი სფერულია, სიმრუდის რადიუსით $R_3 (>0)$, ხოლო უკანა, ასფერული ზედაპირის სიმრუდის რადიუსი პარაქსიალურ არეში ემთხვევა წინა ზედაპირის სიმრუდეს, ანუ

$$R_4^* = -R_3. \quad (1)$$

დავუშვათ, პირველი ლინზის ოპტიკური პარამეტრებია: წინა ზედაპირის სიმრუდის რადიუსი $R_1 (>0)$, უკანა ზედაპირის სიმრუდის რადიუსი $R_2 (<0)$, ლინზის სისქე t_1 და ოპტიკური მასალის გარდატეხის მაჩვენებელი n_1 (კონკრეტული ტალღის სიგრძისთვის).

მეორე ლინზის საწყისი პარამეტრების არჩევას გავითვალისწინოთ, რომ საწყისი სხივის კოლიმირებისთვის საჭიროა ლინზების ფოკუსური წერტილები ერთმანეთს ემთხვეოდეს, ანუ, ლინზებს შორის მანძილი უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას

$$d = S'_{F1} + S_{F2}, \quad (2)$$

სადაც S'_{F1} პირველი ლინზის უკანა ფოკუსური მონაკვეთის (მანძილი უკანა ზედაპირიდან უკანა ფოკუსურ წერტილამდე) სიგრძეა, ხოლო S_{F2} – მეორე ლინზის წინა ფოკუსური

მონაკვეთის სიგრძე. ცხადია, ფოკუსური მონაკვეთი S'_{F1} მთლიანად განსაზღვრულია პირველი ლინზის ოპტიკური პარამეტრებით [1]:

$$S'_{F1} = f'_1 \left(1 - \frac{n_1 - 1}{n_1 R_1} t_1 \right), \quad (3)$$

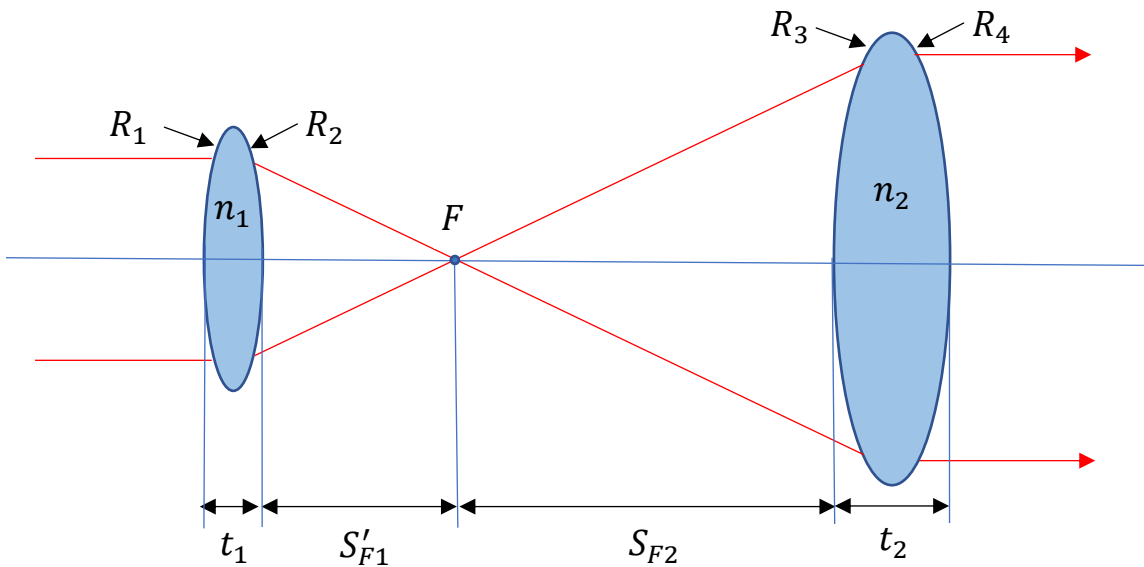
სადაც f'_1 პირველი ლინზის უკანა ფოკუსური მანძილია:

$$\frac{1}{f'_1} = (n_1 - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) + \frac{(n_1 - 1)^2}{n_1 R_1 R_2} t_1. \quad (4)$$

ცხადია, S_{F2} განისაზღვრება მეორე ლინზის ოპტიკური პარამეტრებით, ხოლო მისი კავშირი S'_{F1} -თან განისაზღვრება (2) ტოლობით, აგრეთვე კოლიმაციის ხარისხით (მიღებული სხივის განივკვეთის დიამეტრი შეფარდებული საწყისი სახივის განივკვეთის დიამეტრთან). ნახ.1-დან ჩანს, რომ თუ კოლიმაციის ხარისხია m , მაშინ

$$S_{F2} \approx m S'_{F1}. \quad (5)$$

ამგვარად, პირველი და მეორე ლინზების ოპტიკურ პარამეტრებს შორის მყარდება შემდეგი კავშირი: პირველი ლინზის ოპტიკური პარამეტრებით დგინდება მისი უკანა ფოკუსური მონაკვეთი (ფორმულები (3), (4)), ფორმულებით (2) და (5) ლინზების ფოკუსურ მონაკვეთებს შორის, საიდანაც, (1)-ის გათვალისწინებით, ვადგენთ მეორე ლინზის ოპტიკურ პარამეტრებს.



ნახ. 1

აღნიშნული სქემის განხორციელების შედეგად მივიღებთ:

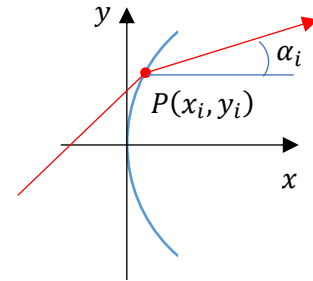
$$S_{F2} = \frac{n_2 R_3^2 - (n_2 - 1) R_3 t_2}{(n_2 - 1) [2 R_3 n_2 - t_2 (n_2 - 1)]}. \quad (6)$$

აქედან შეიძლება გამოვსახოთ R_3 :

$$R_3 = \frac{n_2 - 1}{2} \left[\frac{t_2}{n_2} + 2S_{F2} + \sqrt{\left(\frac{t_2}{n_2}\right)^2 + 4S_{F2}^2} \right]. \quad (7)$$

ამგვარად, გვაქვს შემდეგი საწყისი მონაცემები: პირველი ლინზისთვის – R_1, R_2, n_1, t_1 , მეორე ლინზისთვის – R_3, n_2, t_2 , აგრეთვე, მანძილი ლინზებს შორის – d .

ჩვენს მიერ შექმნილი პროგრამული უზრუნველყოფის მეშვეობით შესაძლებელია გამოთვლილი იქნას i -ურ ზედაპირზე გარდატეხილი სხივის კოორდინატები (x_i, y_i, α_i) ამ ზედაპირთან დაკავშირებულ კოორდინატთა სისტემაში (ნახ. 2), რაც საშუალებას გვაძლევს ფერმას პრინციპის გამოყენებით დავთვალოთ მეორე ლინზის უკანა, ასფერული ზედაპირი იმ პირობით, რომ მან უზრუნველყოს პირველი ლინზის წინა ზედაპირზე დაცემული პარალელური სხივთა კონის კოლიმაცია.



ნახ. 2

განვიხილოთ სხივი, რომლის კოორდინატები პირველი ლინზის წინა ზედაპირთან დაკავშირებულ კოორდინატთა სისტემაში არის $A_0(0; h)$ და $\alpha_0 = 0$, ანუ, საწყისი სხივი ვრცელდება ოპტიკური ღერძის პარალელურად მისგან h სიმაღლეზე. სხივის i -ურ ზედაპირთან გადაკვეთის წერტილები აღვნიშნოთ A_i -ით. ფერმას პრინციპის თანახმად, ამ სხივის ოპტიკური გზა ტოლი იქნება ნულოვანი, ანუ, მთავარი ოპტიკური ღერძის გასწვრივ გავრცელებული სხივის ოპტიკური გზისა, ანუ:

$$\sum_0^4 n_i A_i A_{i+1} = n_1 t_1 + d + n_2 t_2. \quad (8)$$

მეორე ლინზის უკანა, ასფერულ ზედაპირთან დაკავშირებულ საკოორდინატო სისტემაში გამოსახულება (8) მიიღებს სახეს:

$$L_1 + n_1 L_2 + L_3 + n_2 L_4 = n_1 t_1 + d + n_2 t_2, \quad (9)$$

სადაც

$$L_1 = \tilde{x}_1,$$

$$L_2 = \sqrt{(\tilde{x}_2 - \tilde{x}_1)^2 + (\tilde{y}_2 - \tilde{y}_1)^2},$$

$$L_3 = \sqrt{(\tilde{x}_3 - \tilde{x}_2)^2 + (\tilde{y}_3 - \tilde{y}_2)^2},$$

$$L_4 = \sqrt{(x_a - \tilde{x}_3)^2 + (y_a - \tilde{y}_3)^2}.$$

აქ (x_a, y_a) მეორე ლინზის უკანა, ასფერული ზედაპირის კოორდინატებია, ხოლო $(\tilde{x}_i, \tilde{y}_i)$ i -ური ზედაპირის კოორდინატებია ასფერულ ზედაპირთან დაკავშირებულ კოორდინატთა სისტემაში:

$$\tilde{x}_1 = x_1 - t_1 - t_2 - d,$$

$$\tilde{x}_2 = x_2 - t_2 - d,$$

$$\tilde{x}_3 = x_3 - t_2,$$

$$\tilde{y}_i = y_i.$$

ბოლო აღნიშვნების გათვალისწინებით (9) ფორმულიდან მივიღებთ:

$$n_2 \sqrt{(x_a - \tilde{x}_3)^2 + (y_a - \tilde{y}_3)^2} - x_a = \Phi(h), \quad (10)$$

სადაც

$$\Phi(h) = n_1 t_1 + d + n_2 t_2 - \sum_0^3 n_i L_i, \quad (n_0 = 1, L_0 = x_1). \quad (11)$$

(შევნიშნოთ, რომ L_i -ები წარმოადგენენ h -ის ფუნქციას, რადგან $x_i = x_i(h)$, $y_i = y_i(h)$, $\alpha_i = \alpha_i(h)$)

ასფერული ზედაპირის კოორდინატებს შორის კიდევ ერთი კავშირის დასამყარებლად გამოვიყენოთ კავშირი მეორე ლინზაში მოხვედრილი სხივის საწყის და საბოლოო წერტილებს შორის:

$$y_a = \tilde{y}_3 + (x_a - \tilde{x}_3) \cdot tg\alpha_3. \quad (12)$$

(10) და (12) გამოსახულებები ქმნიან განტოლებათა სისტემას (x_a, y_a) ცვლადების მიმართ. ამ სისტემის ამოხსნით მივიღებთ:

$$x_a = \frac{\Phi(h) \cdot \cos\alpha_3 + \tilde{x}_3 n_2}{n_2 - \cos\alpha_3}, \quad (13)$$

$$y_a = \frac{(\Phi(h) + \tilde{x}_3) \cdot \sin\alpha_3}{n_2 - \cos\alpha_3} + \tilde{y}_3. \quad (14)$$

(13) და (14) ფორმულები წარმოადგენენ მეორე ლინზის უკანა ასფერული ზედაპირის პარამეტრულ განტოლებას. იმისთვის, რომ დაიწეროს ასფერული ზედაპირის განტოლება ცხადი სახით Collimation, focal section, aspheric surface, უნდა განხორციელდეს ამ ზედაპირის პოლინომური ინტერპოლაცია.

ლიტერატურა

[1] Born M., Wolf E., Principles of Optics. Cambridge University Press, 1999.

A two-lens collimating system with one aspherical surface

David Shalamberidze, Irakli Kordzakhia

LEPL Institute OPTICA

Abstract

The article describes the method of calculating the optical parameters of the second, aspherical lens based on the known optical parameters of the first spherical lens in a two-lens collimating system. The method allows to write the parametric equation of the aspheric profile in an explicit form.

Keywords: Collimation, Focal section, Aspheric surface