



دانشگاه صنعتی شریف
دانشکده مهندسی برق

آزمایشگاه اپتیک

(دانشکده فیزیک، طبقه 1، آزمایشگاه اپتیک و لیزر)

آزمایش 5: بررسی عدسی‌های ضخیم

نویسنده: ملیکا رجبی - 99101608

تاریخ انجام آزمایش: 1403.1.15

در این آزمایش بعد از تنظیم، فاصله‌ی کانونی عدسی‌های ضخیم به شکل‌های قرص شفاف، نیم قرص شفاف به صورت محدب-مسطح، نیم قرص شفاف به صورت مسطح-محدب، محدب‌الطرفین، و مقعرالطرفین را با تاباندن دو پرتوی موازی و پیدا کردن محل تقاطع آن‌ها، اندازه می‌گیریم.

وسایل مورد نیاز برای آزمایش: لامپ نور سفید و منبع تغذیه، عدسی با فاصله‌ی کانونی 200mm ، تیغی دو شکاف، ریل اپتیکی، عدسی‌های ضخیم (قرص شفاف، نیم قرص شفاف، محدب‌الطرفین، مقعرالطرفین)

۱ اندازه‌گیری فاصله‌ی کانونی قرص شفاف

ابتدا عدسی 200mm را روبروی لامپ نور سفید و روی ریل اپتیکی قرار می‌دهیم. برای تنظیم آزمایش، عدسی را آنقدر حرکت می‌دهیم تا تصویر واضحی از لامپ سفید را روی دیوار انتهایی آزمایشگاه که فاصله‌ی نسبتاً دوری از آن دارد ببینیم. سپس دو شکاف را روبروی عدسی قرار می‌دهیم و پایه‌ی کفه‌دار را در جلوی آن می‌گذاریم تا دو پرتوی موازی هم روی کاغذ میلی‌متری روی آن ببینیم. حالا قرص شفاف را روی کفه قرار می‌دهیم و محل تقاطع دو پرتو را علامت‌گذاری می‌کنیم. این نقطه کانون عدسی نام دارد.

فاصله‌ی کانون عدسی تا مرکز قرص شفاف در آزمایش به صورت زیر بود:

جدول ۵-۱

دفعات	فاصله‌ی کانون تا مرکز قرص شفاف (cm)
1	6.8
2	6.8
3	6.7
میانگین	6.77

برای پیدا کردن فاصله‌ی کانونی (فاصله‌ی کانون عدسی تا صفحه‌ی اصلی) نیاز به دانستن مکان صفحه‌ی اصلی داریم. صفحه‌ی اصلی در عدسی‌های ضخیم برخلاف عدسی‌های نازک در مرکز عدسی نیست. برای پیدا کردن صفحه‌ی اصلی این عدسی‌ها می‌توان از دو روش فرمول و ترسیم استفاده کرد.

فرمول:

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) + \frac{e(n-1)^2}{nR_1R_2} \quad (۱-۵)$$

در مورد قرص شفاف می‌دانیم:

$$n = 1.5 \quad (۲-۵)$$

$$|R_1| = |R_2| = 4.5 \text{ cm} \quad (۳-۵)$$

$$e = 2 \times |R_1| = 9 \text{ cm} \quad (۴-۵)$$

بنابراین فاصله‌ی کانونی با استفاده از فرمول برای قرص شفاف برابر است با:

$$f = \frac{1}{\left(\frac{0.5 \times 2}{4.5}\right) - \left(\frac{9 \times 0.5 \times 0.5}{1.5 \times 4.5 \times 4.5}\right)} = 6.75 \text{ cm} \quad (۵-۵)$$

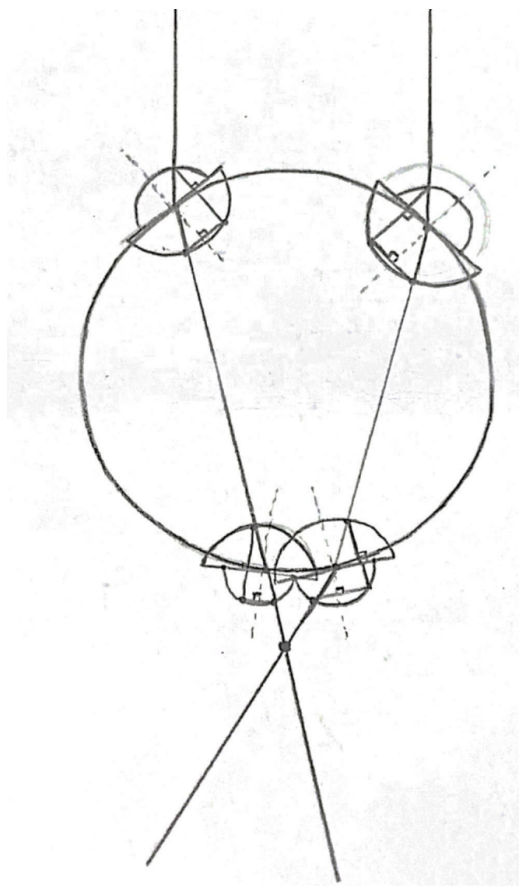
بنابراین، صفحه‌ی اصلی این عدسی در فاصله‌ی $6.77 - 6.75 = 0.02 \text{ cm}$ از مرکز و در سمت دورتر از لیزر هست.

ترسیم:

در این روش در هر نقطه‌ی برخورد پرتو با عدسی، یک خط مماس رسم می‌کنیم. در سمت بیرون عدسی نیم‌دایره‌ای به مرکز نقطه‌ی برخورد پرتو با عدسی و با شعاع

برابر با ضریب شکست محیط بیرون عدسی رسم می‌کنیم. در سمت داخل عدسی، نیم‌دایره‌ای به مرکز همان نقطه‌ی برخورد ولی با شعاع برابر با ضریب شکست عدسی رسم می‌کنیم. سپس محل تقاطع پرتو با دایره‌ی اول را مشخص کرده و از آن نقطه به خط مماسی که در ابتدا رسم کردیم، خطی عمود می‌کنیم. در ادامه، از نقطه‌ی تقاطع خط عمود با نیم‌دایره‌ی دیگر، خطی بر محور تقارن دو نیم‌دایره عمود می‌کنیم. این خط دایره‌ی دوم را در نقطه‌ای قطع می‌کند. از آن نقطه به مرکز دایره خطی متصل می‌کنیم. این خط نمایش‌گر امتداد پرتو در درون عدسی است. اگر این کار را برای دو پرتوی ورودی به عدسی و برای تمامی نقاطی که پرتوها از یک محیط وارد محیطی دیگر می‌شوند انجام دهیم، می‌توانیم محل تقاطع دو پرتو هنگام خروج از عدسی در سمت دیگر را پیدا کنیم. به این ترتیب کانون عدسی مشخص می‌شود.

شکل زیر روش ترسیم برای پیدا کردن کانون قرص شفاف را نشان می‌دهد:



شکل ۵-۱: ترسیم برای قرص شفاف

۲ اندازه‌گیری فاصله‌ی کانونی نیم قرص شفاف (محدب-مسطح)

در این بخش، نیم قرص شفاف را به طوری که سمت محدب آن رو به لیزر باشد، روی کفه قرار می‌دهیم. سپس همانند بخش قبل آزمایش را انجام می‌دهیم. فاصله‌ی کانون عدسی تا مرکز نیم قرص شفاف (محدب-مسطح) در آزمایش به صورت زیر بود:

جدول ۵-۲

دفعات	فاصله‌ی کانون تا مرکز نیم قرص شفاف (محدب-مسطح) (cm)
1	5.9
2	6
3	6
میانگین	5.97

فرمول:

$$f = \frac{R_1}{(n-1)} \quad (۵-۶)$$

در مورد نیم قرص شفاف (محدب-مسطح) می‌دانیم:

$$n = 1.5 \quad (۵-۷)$$

۳ اندازه‌گیری فاصله‌ی کانونی نیم قرص شفاف (مسطح-محدب)

در این بخش، نیم قرص شفاف را به طوری که سمت مسطح آن رو به لیزر باشد، روی کفه قرار می‌دهیم. سپس همانند بخش قبل آزمایش را انجام می‌دهیم. فاصله‌ی کانون عدسی تا مرکز نیم قرص شفاف (مسطح-محدب) در آزمایش به صورت زیر بود:

جدول ۵-۳

دفعات	فاصله‌ی کانون تا مرکز نیم قرص شفاف (مسطح-محدب) (cm)
1	13.5
2	13.3
3	13.4
میانگین	13.4

فرمول:

$$f = \frac{R_2}{(n-1)} \quad (۵-۱۱)$$

در مورد نیم قرص شفاف (مسطح-محدب) می‌دانیم:

$$n = 1.5 \quad (۵-۱۲)$$

$$|R_1| = \infty \quad |R_2| = 4.5 \text{ cm} \quad (۵-۱۳)$$

$$e = |R_2| = 4.5 \text{ cm} \quad (۵-۱۴)$$

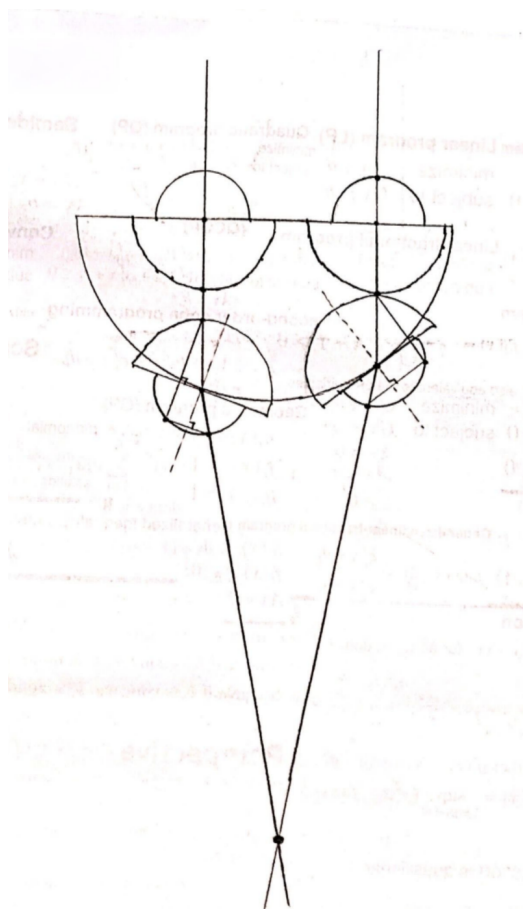
بنابراین فاصله‌ی کانونی با استفاده از فرمول برای نیم قرص شفاف
(مسطح-محدب) برابر است با:

$$f = \frac{4.5}{0.5} = 9 \text{ cm} \quad (۱۵-۵)$$

بنابراین، صفحه‌ی اصلی عدسی در فاصله‌ی $13.4 - 9 = 4.4 \text{ cm}$ از مرکز و در سمت
دورتر از لیزر است.

ترسیم:

همانطور که در بخش قبل توضیح داده شد، شکل زیر روش ترسیم برای پیدا
کردن کانون نیم قرص شفاف (مسطح-محدب) را نشان می‌دهد:



شکل ۵-۳: ترسیم برای نیم قرص شفاف (مسطح-محدب)

۴ اندازه‌گیری فاصله‌ی کانونی عدسی محدب‌الطرفین

در این بخش، عدسی محدب‌الطرفین را روی کفه قرار می‌دهیم. سپس همانند بخش قبل آزمایش را انجام می‌دهیم.

فاصله‌ی کانون عدسی تا مرکز آن در آزمایش به صورت زیر بود:

جدول ۴-۵

دفعات	فاصله‌ی کانون تا مرکز عدسی محدب‌الطرفین (cm)
1	11.3
2	11.3
3	10.9
میانگین	11.17

فرمول:

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) + \frac{e(n-1)^2}{nR_1R_2} \quad (۱۶-۵)$$

در مورد عدسی محدب‌الطرفین می‌دانیم:

$$n = 1.5 \quad (۱۷-۵)$$

$$|R_1| = |R_2| = 11.5 \text{ cm} \quad (۱۸-۵)$$

$$e = 3.4 \text{ cm} \quad (۱۹-۵)$$

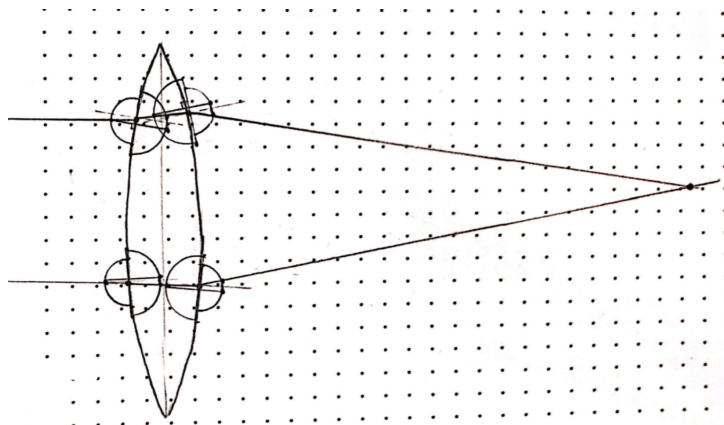
بنابراین فاصله‌ی کانونی با استفاده از فرمول برای عدسی محدب‌الطرفین برابر است با:

$$f = \frac{1}{\left(\frac{0.5 \times 2}{11.5}\right) - \left(\frac{3.4 \times 0.5 \times 0.5}{1.5 \times 11.5 \times 11.5}\right)} = 12.1 \text{ cm} \quad (۲۰-۵)$$

بنابراین، صفحه‌ی اصلی عدسی در فاصله‌ی $12.1 - 11.17 = 0.93 \text{ cm}$ از مرکز و در سمت نزدیک‌تر به لیزر است.

ترسیم:

همانطور که در بخش قبل توضیح داده شد، شکل زیر روش ترسیم برای پیدا کردن کانون عدسی محدب‌الطرفین را نشان می‌دهد:



شکل ۵-۴: ترسیم برای عدسی محدب‌الطرفین

۵ اندازه‌گیری فاصله‌ی کانونی عدسی مقعرالطرفین

در این بخش، عدسی مقعرالطرفین را روی کفه قرار می‌دهیم. سپس همانند بخش قبل آزمایش را انجام می‌دهیم.

فاصله‌ی کانون عدسی تا مرکز آن در آزمایش به صورت زیر بود:

جدول ۵-۵

دفعات	فاصله‌ی کانون تا مرکز عدسی مقعرالطرفین (cm)
1	8.8
2	9.8
3	9
میانگین	9.2

توجه شود که در این عدسی، کانون در پشت عدسی میفتد.

فرمول:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) + \frac{e(n - 1)^2}{nR_1R_2} \quad (۲۱-۵)$$

در مورد عدسی مقعرالطرفین می‌دانیم:

$$n = 1.5 \quad (۲۲-۵)$$

$$|R_1| = |R_2| = 10 \text{ cm} \quad (۲۳-۵)$$

$$e = 1 \text{ cm} \quad (۲۴-۵)$$

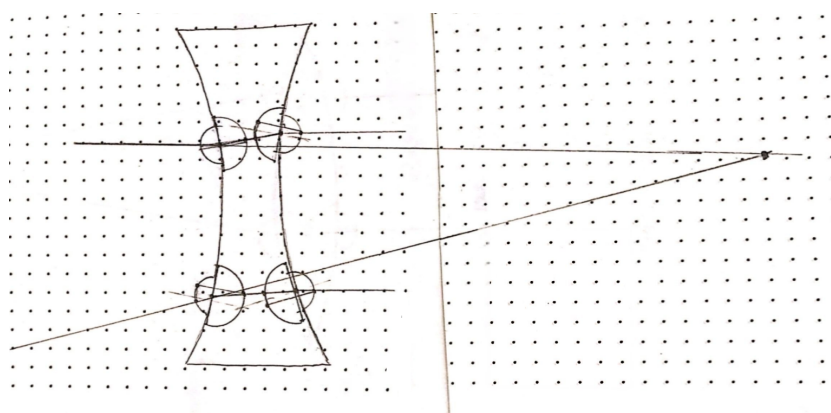
بنابراین فاصله‌ی کانونی با استفاده از فرمول برای عدسی مقعرالطرفین برابر است با:

$$f = \frac{1}{\left(\frac{0.5 \times 2}{10}\right) - \left(\frac{0.5 \times 0.5}{1.5 \times 10 \times 10}\right)} = 10.17 \text{ cm} \quad (۲۵-۵)$$

بنابراین، صفحه‌ی اصلی عدسی در فاصله‌ی $10.17 - 9.2 = 0.97 \text{ cm}$ از مرکز و در سمت نزدیک‌تر به لیزر است.

ترسیم:

همانطور که در بخش قبل توضیح داده شد، شکل زیر روش ترسیم برای پیدا کردن کانون عدسی مقعرالطرفین را نشان می‌دهد:



شکل ۵-۵: ترسیم برای عدسی مقعرالطرفین

۶ محاسبه‌ی خطا

$$A = \frac{n-1}{R_1} - \frac{n-1}{R_2} + \frac{e(n-1)^2}{nR_1R_2} \quad (۲۶-۵)$$

$$\Delta f = \sqrt{2 \times \left(\frac{-1}{A^2} \left(-\frac{e(n-1)^2}{nR_2R_1^2} \right) \times \Delta R_1 \right)^2 + \left(\frac{-1}{A^2} \frac{(n-1)^2}{nR_1R_2} \times \Delta e \right)^2} \quad (۲۷-۵)$$

همچنین می‌دانیم که:

$$\Delta R_1 = \Delta R_2 = \Delta e = 1 \text{ mm} \quad (۲۸-۵)$$

بنابراین داریم:

$$\Delta f = \frac{1}{A^2} \sqrt{2 \times \left(\frac{0.017e}{R_2 R_1^2} \right)^2 + \left(\frac{-0.017}{R_1 R_2} \right)^2} \quad (۲۹-۵)$$

به این ترتیب خطای فاصله‌ی کانونی هر عدسی به صورت زیر خواهد بود:

جدول ۵-۶: خطاهای فواصل کانونی

خطای فاصله کانونی (cm)	نوع عدسی
0.11475	قرص شفاف
0	نیم قرص شفاف (محدب-مسطح)
0	نیم قرص شفاف (مسطح-محدب)
0.02	محدب‌الطرفین
0.018	مقعراًلطرفین

دلیل این خطا می‌تواند رسم اشکال بدون ابزار دقیق و با دست، تشخیص محل کانون با چشم، تکفام نبودن پرتوها، موازی نبودن پرتوها، و دقیق نبودن فرمول مورد استفاده باشد. برای کاهش این خطا می‌توان از ابزار و وسایل دقیق برای آزمایش استفاده کرد.

۷ نتیجه‌گیری

در این آزمایش آموختیم که چگونه می‌توان با سه روش آزمایش، محاسبه و ترسیم، کانون عدسی‌های ضخیم و همچنین فاصله‌ی کانونی آن‌ها را به دست آورد.