

# بسم الله الرحمن الرحيم

گزارش کار آزمایشگاه اپتیک – دکتر مهدوی

آزمایش پنجم

بررسی عدسی های ضخیم

حسین محمدی

۹۶۱۰۱۰۳۵

آزمایشگاه اپتیک – دانشکده فیزیک – دانشگاه صنعتی شریف

گروه دوم – چهارشنبه از ساعت ۱۳:۳۰ الی ۱۷:۳۰

تاریخ انجام آزمایش : ۱۸ فروردین سال ۱۴۰۰

## مقدمه ی آزمایش

عدسی های نوری، یکی از متداولترین وسایل در آزمایشگاه اپتیک است که هدایت و تنظیم نور را بر عهده دارد؛ از کاربردهای آن می توان «موازی کردن پرتوهای نور ورودی» را می توان مثال زد که در طیف سنج آن را مشاهده کردیم. در این آزمایش با عدسی های ضخیم کار می کنیم و به بررسی خواص آن می پردازیم.

در بررسی عدسی های ضخیم با مفاهیمی چون «صفحه های اصلی اول و دوم» و «فواصل کانونی اصلی و فرعی» و... آشنا می شویم که در بررسی فیزیک این عدسی های نقش اساسی ایفا می کنند. روابطی را برای یافتن فاصله کانونی و صفحات اصلی پیدا می کنیم و شیوه ی ترسیم هندسی را یاد می گیریم.

همچنین در آزمایش هم، انواع مختلف این عدسی ها را بررسی می کنیم و از روابط مطرح شده در بالا برای یافتن فواصل کانونی استفاده می کنیم. نتیجه این است که از چند روش مختلف می توان پارامترهای مربوط به عدسی را پیدا کرد و آن ها را با یکدیگر مقایسه کرد.

## آزمایش اول: اندازه گیری فاصله ی کانونی قرص شفاف

در این آزمایش، منبع نور را پشت ریل اپتیکی قرار دادیم و یک از یک عدسی نازک برای موازی کردن پرتوهای نور استفاده کردیم و آن را به گونه ای تنظیم کردیم که تصویر منبع روی فاصله ی بی نهایت دور فیزیکی، واضح دیده شود. سپس دو شکاف را قرار دادیم تا نور را به دو باریکه ی مجزا و قابل رویت تقسیم کند. حالا پایه ی کفه دار را روی ریل قرار می دهیم و روی آن کاغذی میلیمتری قرار می دهیم و عدسی مذکور را روی آن قرار می دهیم تا دوباریکه ی نور به آن برخورد کند.

به این فرایند طی شده در بالا «تنظیم اولیه» می گوئیم. پس از تنظیم اولیه، قرص شفاف را روی پایه کفه دار قرار می دهیم و به ترسیم عدسی، محل برخورد دو باریکه نور و محور اپتیکی می پردازیم. نتیجه همان چیزی است که در پاسخ آزمایش آمده است.

در اینجا به سه روش فاصله کانونی را محاسبه می کنیم:

روش آزمایش: یعنی پرتوهای خروجی و ورودی را امتداد می دهیم تا یکدیگر را قطع کنند، سپس فاصله ی محل تقاطع پرتو ها را تا آینه (a) را پیدا می کنیم و با روابط مربوطه، فاصله کانونی را پیدا می کنیم.<sup>1</sup>

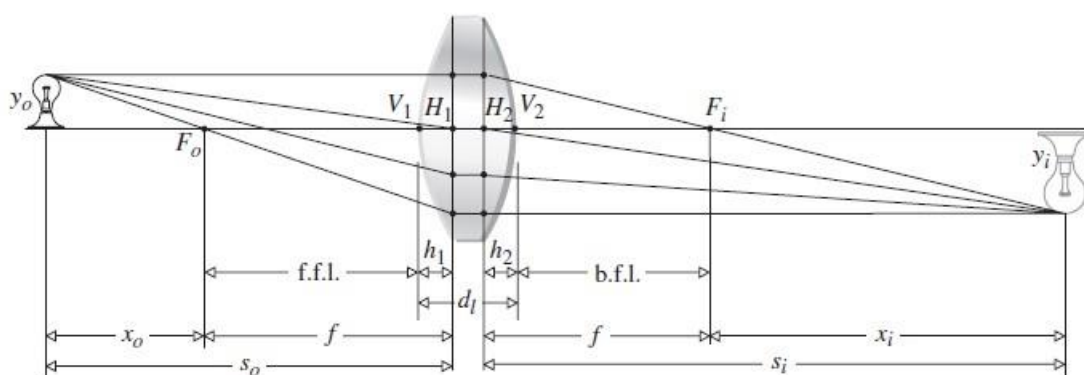
<sup>1</sup> توجه کنید که می توان صفحه اصلی را هم پیدا کرد ولی به تجربه بنده این کار دقت کافی ندارد و بهتر است که همین کاری که در بالا ذکر شد انجام شود.

روش ترسیم: بر روی کاغذ میلیمتری و با کمک پرگار و گونیا، پرتوهای خروجی را ترسیم می کنیم و مشابه با بالا، فاصله ی محل تقاطع پرتوها را تا آینه (a) را پیدا می کنیم و با روابط مربوطه، فاصله کانونی را پیدا می کنیم.

روش محاسبه: شعاع آینه را از روی اشکال «پاسخ نامه» به دست می آوریم و سپس از روابط موجود در دستور کار استفاده می کنیم تا فاصله کانونی را به دست بیاوریم.

## روابط:

ابتدا نگاهی به هندسه ی مسئله ی عدسی های ضخیم داشته باشیم:



تصویر ۱: عدسی های ضخیم و پارامتر های آن

تصویر بالا، فاصله از نقطه ی  $F_i$  تا  $V_2$  را برابر  $a$  می گیریم؛ یعنی:  $V_2 F_i = a$

از کتاب اپتیک Hecht یک سری روابط که بر عدسی های ضخیم حاکم است را استخراج کرده ام:

$$h_2 = -\frac{f(n-1)d}{Rn}$$

$$f = a + h_2$$

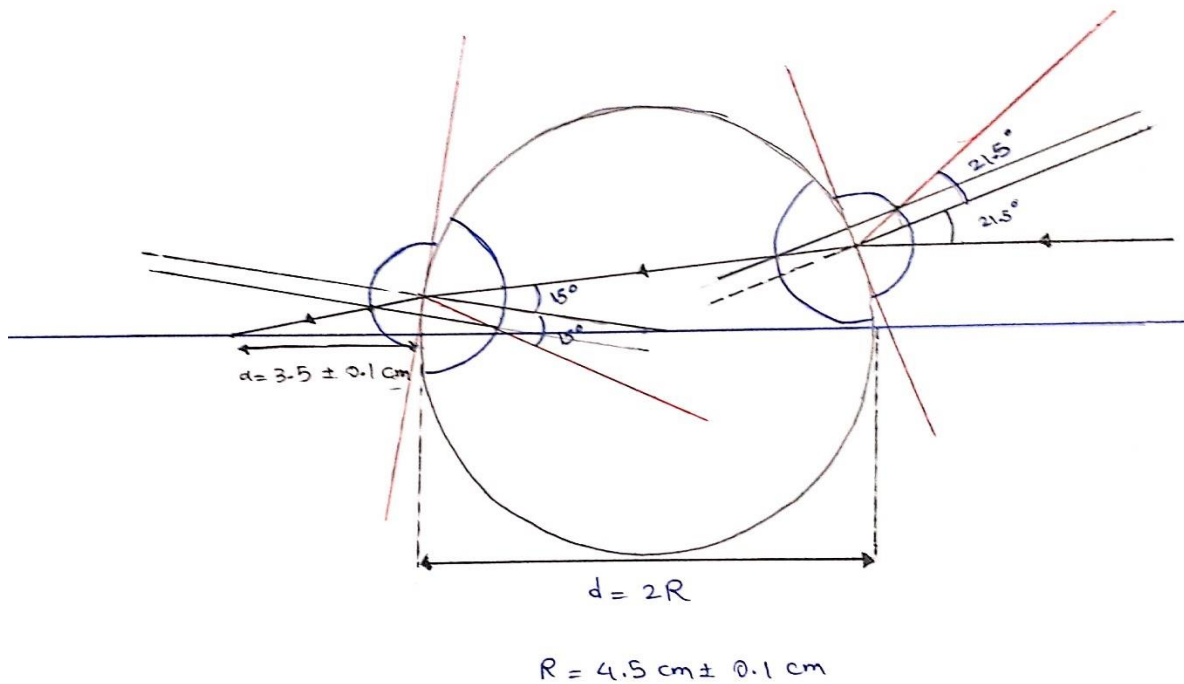
حال اگر رابطه اول را در دومی قرار دهیم به دست می آید:

$$f = \frac{a}{1 + \frac{(n-1)d}{Rn}}$$

علاوه بر آن، یک رابطه هم در دستور کار معرفی شده است:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) + d \frac{(n - 1)^2}{n R_1 R_2}$$

روش ترسیم:



تصویر 2: روش ترسیم برای اندازه گیری فاصله کانونی قرص شفاف

پس از یافتن مقدار  $a$  بایستی آن را در روابط مربوطه جایگذاری کرده و مقدار فاصله کانونی را پیدا کنیم.

روش آزمایش:

در این روش از تصویر پاسخ نامه استفاده می کنیم و مقدار  $a$  را به دست می آوریم.

$$a = 2.4 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm}$$

پس از یافتن مقدار  $a$  بایستی آن را در روابط مربوطه جایگذاری کرده و مقدار فاصله کانونی را پیدا کنیم.

روش محاسبه:

برای قرص شفاف داریم که  $d = 2R$  و همچنین  $R = 4.5 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm}$  و ضریب شکست هوا هم که

۱.۵ است، با داشتن همه ی این اطلاعات، می توانیم ضریب شکست را از رابطه

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) + d \frac{(n - 1)^2}{n R_1 R_2}$$

محاسبه کنیم.

با تمامی این روش ها فاصله کانونی را به دست آورده ایم و آن را در جدول وارد می کنیم.

جدول ۵-۱: فاصله کانونی قرص شفاف

قرص شفاف	فاصله کانونی
آزمایش	$1.44 \text{ cm} \pm 0.06 \text{ cm}$
محاسبه	$3.38 \text{ cm} \pm 0.4 \text{ cm}$
ترسیم	$2.1 \text{ cm} \pm 0.06 \text{ cm}$

در روش «ترسیم» و «آزمایش» چون از رابطه ساده شده  $f = \frac{a}{3 - \frac{2}{n}}$  استفاده می کنیم پس خطا برابر می شود با

$$\delta f = \frac{\delta a}{3 - \frac{2}{n}} \text{ که با جایگذاری برابر با } 0.06 \text{ سانتی متر حاصل می شود.}$$

در روش محاسبه اما رابطه دستور کار استفاده می شود و خطای آن را اگر بخواهیم حساب کنیم، به شکل زیر است:

$$\delta f = \frac{\left( \frac{2}{R^2} + \frac{2(n-1)}{nR^2} \right) \delta R}{(n-1)^2 \left( \frac{2}{R} + \frac{2(n-1)}{nR} \right)^2}$$

که با جایگذاری خطای این روش برابر با ۰.۴ سانتی متر حاصل می شود.

محاسبه خطاهای نسبی:

$$\Delta_{\text{ترسیم}} = \frac{2.1 - 3.38}{3.38} = -\%36.9$$

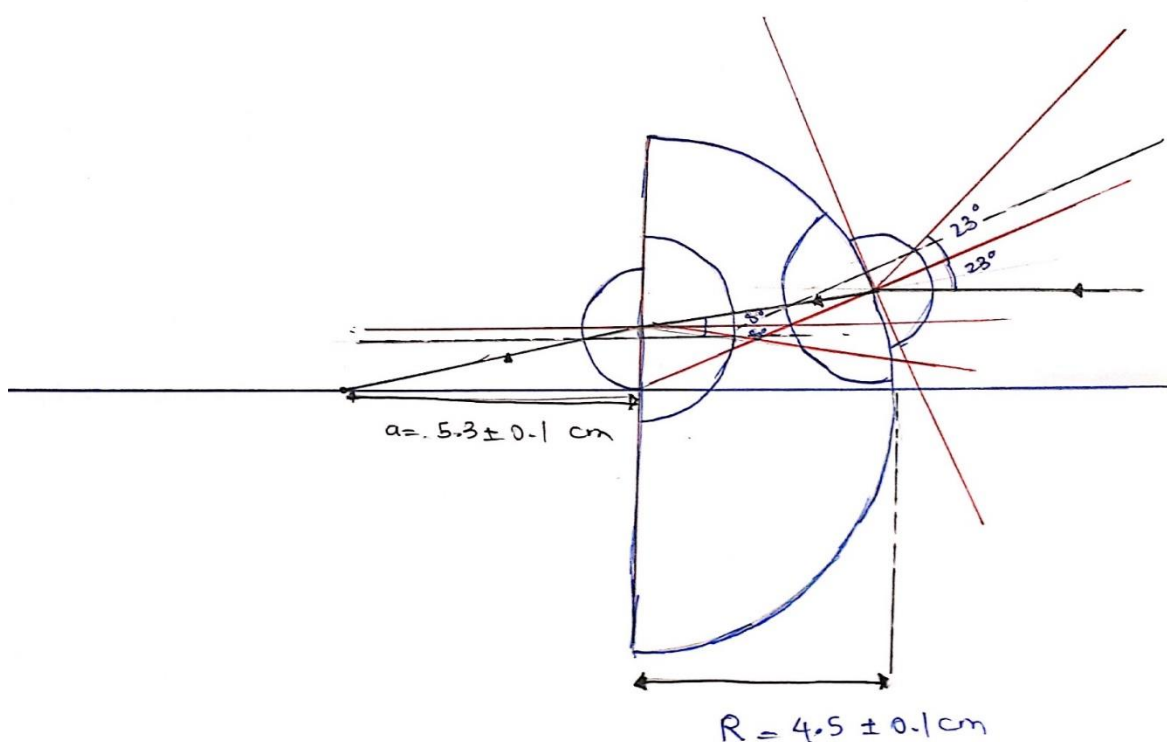
$$\Delta_{\text{آزمایش}} = \frac{1.44 - 3.38}{3.38} = -\%57.4$$

توجه شود که هر دو روش رسم و روش آزمایش دارای خطا هستند و علت این است که :

- در روش آزمایش، به علت پهنای پرتوهای نور، نمی توانیم دقیقاً مشخص کنیم که کجا به یکدیگر برخورد کرده اند و گاهی در تصاویر به خوبی نمی شد رد باریکه های نور را دنبال کرد.
- در روش ترسیم هم باید توجه کرد که هر چند از پرگار و وسایل ترسیم استفاده می شود ولی خطاهایی وجود دارد که در اثر بی توجهی ترسیم کننده به وجود می آید. هر چند این روش دقیق تر به نظر می رسد و استفاده از آن بهتر است.

### آزمایش دوم: اندازه گیری فاصله کانونی نیم قرص شفاف (محدب- مسطح)

روش ترسیم:



تصویر ۳: روش ترسیم برای اندازه گیری فاصله کانونی نیم قرص شفاف (محدب- مسطح)

پس از یافتن مقدار  $a$  بایستی آن را در روابط مربوطه جایگذاری کرده و مقدار فاصله کانونی را پیدا کنیم.

**روش آزمایش:**

در این روش از تصویر پاسخ نامه استفاده می کنیم و مقدار  $a$  را به دست می آوریم.

$$a = 6.4 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm}$$

پس از یافتن مقدار  $a$  بایستی آن را در روابط مربوطه جایگذاری کرده و مقدار فاصله کانونی را پیدا کنیم.

### روش محاسبه:

برای قرص شفاف داریم که  $d = R$  و  $R = 4.5 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm}$  و ضریب شکست هوا هم که ۱.۵ است، با داشتن همه ی این اطلاعات، می توانیم ضریب شکست را از رابطه

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) + d \frac{(n - 1)^2}{n R_1 R_2}$$

محاسبه کنیم.<sup>۲</sup>

با تمامی این روش ها فاصله کانونی را به دست آورده ایم و آن را در جدول وارد می کنیم.

جدول ۵-۲: فاصله کانونی نیم قرص شفاف (محدب-مسطح)

فاصله کانونی	قرص شفاف
$12.2 \text{ cm} \pm 0.07 \text{ cm}$	آزمایش
$9.0 \text{ cm} \pm 0.2 \text{ cm}$	محاسبه
$10.1 \text{ cm} \pm 0.07 \text{ cm}$	ترسیم

در روش «ترسیم» و «آزمایش» چون از رابطه ساده شده  $f = \frac{a}{2 - \frac{1}{n}}$  استفاده می کنیم پس خطا برابر می شود با

$$\delta f = \frac{\delta a}{2 - \frac{1}{n}} \text{ که با جایگذاری برابر با } ۰.۰۷ \text{ سانتی متر حاصل می شود.}$$

در روش محاسبه اما رابطه دستور کار استفاده می شود و خطای آن را اگر بخواهیم حساب کنیم، به شکل زیر است:

$$\delta f = \frac{\delta R}{(n - 1)}$$

که با جایگذاری خطای این روش برابر با ۰.۲ سانتی متر حاصل می شود.<sup>۳</sup>

<sup>۲</sup> هنگام استفاده توجه داشته باشید که چون یکی از وجوه آینه تخت است پس شعاع آن بی نهایت است و شعاع انحنای آن که عکس شعاع است برابر صفر می شود.  
<sup>۳</sup> هنگام استفاده توجه داشته باشید که چون یکی از وجوه آینه تخت است پس شعاع آن بی نهایت است و شعاع انحنای آن که عکس شعاع است برابر صفر می شود و ساده سازی زیادی در محاسبه رابطه خطا صورت می گیرد.

محاسبه خطاهای نسبی:

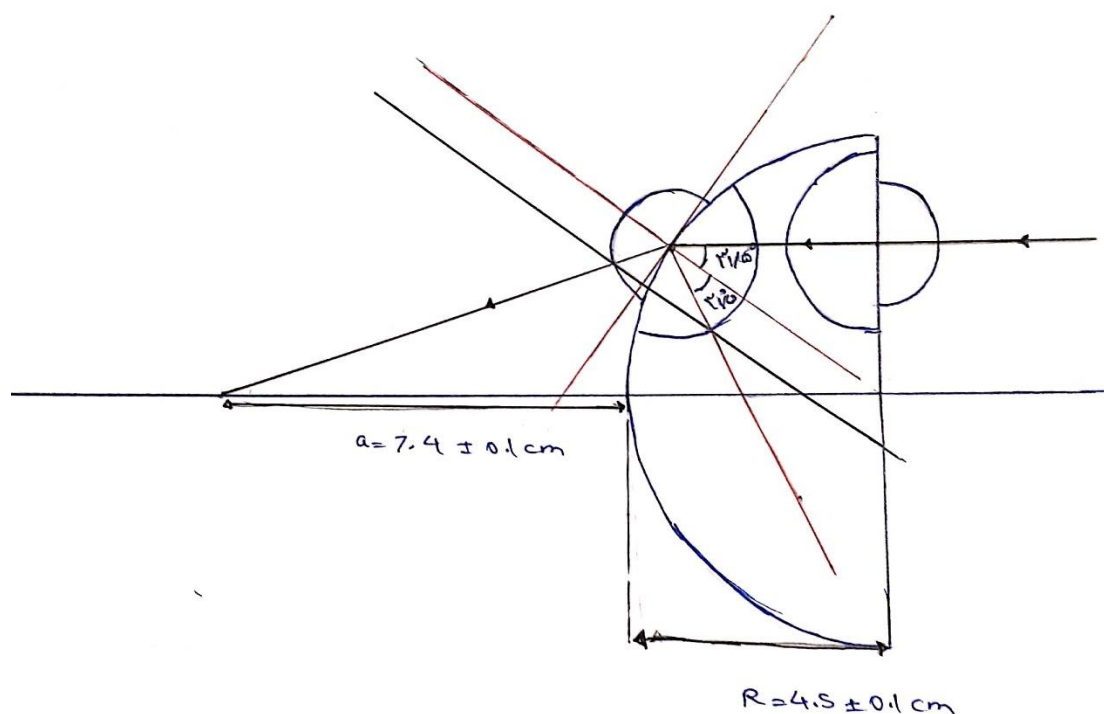
$$\Delta_{\text{ترسیم}} = \frac{10.1 - 9.0}{9.0} = \%12$$

$$\Delta_{\text{آزمایش}} = \frac{12.2 - 9.0}{9.0} = \%35.6$$

علت خطاهای این دو روش در آزمایش اول توضیح داده شده است.

آزمایش سوم: اندازه گیری فاصله کانونی نیم قرص شفاف (مسطح - محدب)

روش ترسیم:



تصویر ۴: روش ترسیم برای اندازه گیری فاصله کانونی نیم قرص شفاف (مسطح - محدب)

پس از یافتن مقدار  $a$  بایستی آن را در روابط مربوطه جایگذاری کرده و مقدار فاصله کانونی را پیدا کنیم.

روش آزمایش:



در این روش از تصویر پاسخ نامه استفاده می کنیم و مقدار  $a$  را به دست می آوریم.

$$a = 9.4 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm}$$

پس از یافتن مقدار  $a$  بایستی آن را در روابط مربوطه جایگذاری کرده و مقدار فاصله کانونی را پیدا کنیم.

**روش محاسبه:**

برای قرص شفاف داریم که  $d = R$  و همچنین  $R = 4.5 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm}$  و ضریب شکست هوا هم که ۱.۵ است، با داشتن همه ی این اطلاعات، می توانیم ضریب شکست را از رابطه

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) + d \frac{(n - 1)^2}{n R_1 R_2}$$

محاسبه کنیم<sup>۴</sup>.

با تمامی این روش ها فاصله کانونی را به دست آورده ایم و آن را در جدول وارد می کنیم.

**جدول ۵-۳: فاصله کانونی نیم قرص شفاف (مسطح - محدب)**

فاصله کانونی	قرص شفاف
$11.1 \text{ cm} \pm 0.07 \text{ cm}$	آزمایش
$9.0 \text{ cm} \pm 0.2 \text{ cm}$	محاسبه
$9.3 \text{ cm} \pm 0.07 \text{ cm}$	ترسیم

روابط خطای نسبی این آزمایش هم مشابه آزمایش قبل هستند.

**محاسبه خطاهای نسبی:**

$$\Delta_{\text{ترسیم}} = \frac{9.3 - 9.0}{9.0} = \%3.3$$

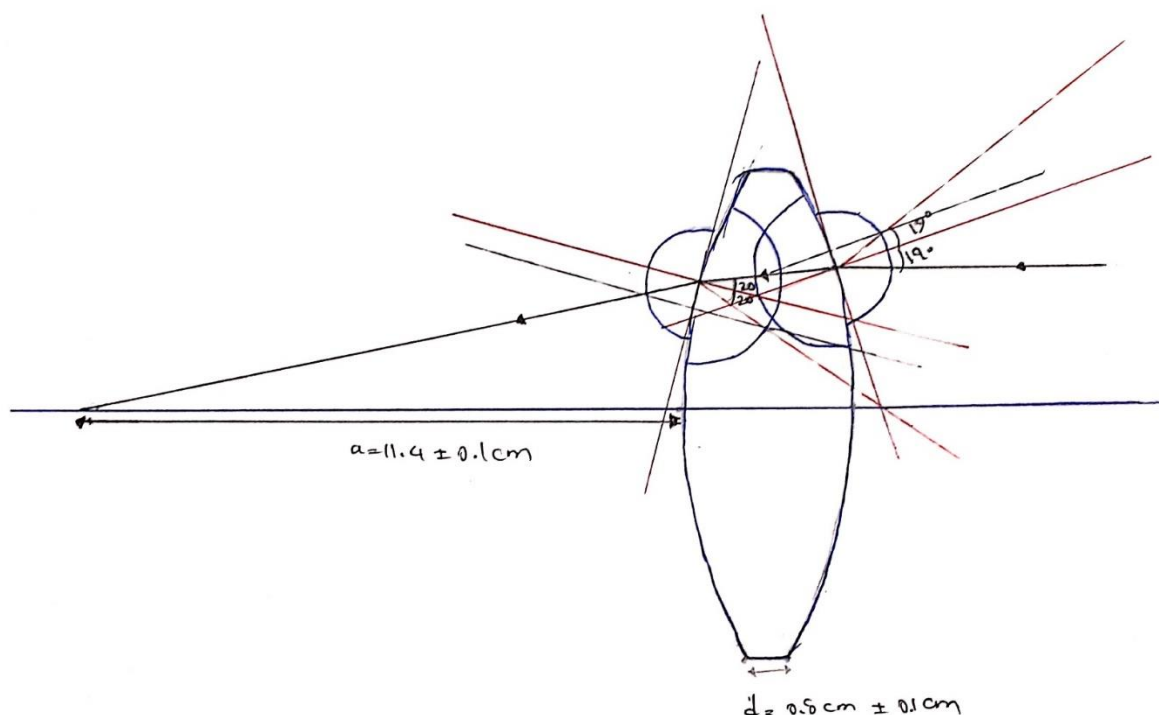
$$\Delta_{\text{آزمایش}} = \frac{11.1 - 9.0}{9.0} = \%23$$

علت خطاهای این دو روش در آزمایش اول توضیح داده شده است.

<sup>۴</sup> هنگام استفاده توجه داشته باشید که چون یکی از وجوه آینه تخت است پس شعاع آن بی نهایت است و شعاع انحنای آن که عکس شعاع است برابر صفر می شود.

## آزمایش چهارم: اندازه گیری فاصله کانونی عدسی محدب الطرفین

روش ترسیم:



تصویر ۵: روش ترسیم برای اندازه گیری فاصله کانونی عدسی محدب الطرفین

پس از یافتن مقدار  $a$  بایستی آن را در روابط مربوطه جایگذاری کرده و مقدار فاصله کانونی را پیدا کنیم.

روش آزمایش:

در این روش از تصویر پاسخ نامه استفاده می کنیم و مقدار  $a$  را به دست می آوریم.

$$a = 9.8 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm}$$

پس از یافتن مقدار  $a$  بایستی آن را در روابط مربوطه جایگذاری کرده و مقدار فاصله کانونی را پیدا کنیم.

روش محاسبه:

برای این عدسی از روی پاسخ نامه داریم که  $d = 3.5 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm}$  و همچنین شعاع ها آینه برابرند با:

$$R_1 = 8.0 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm} \text{ و } R_2 = 11.1 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm} \text{ ضریب شکست هوا هم که } 1.5 \text{ است، با}$$

داشتن همه ی این اطلاعات، می توانیم ضریب شکست را از رابطه

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) + d \frac{(n - 1)^2}{n R_1 R_2}$$

محاسبه کنیم.<sup>۵</sup>

با تمامی این روش ها فاصله کانونی را به دست آورده ایم و آن را در جدول وارد می کنیم.

جدول ۵-۴: فاصله کانونی عدسی محدب الطرفین

قرص شفاف	فاصله کانونی
آزمایش	$10.3 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm}$
محاسبه	$8.71 \text{ cm} \pm 0.02 \text{ cm}$
ترسیم <sup>۶</sup>	$11.7 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm}$

محاسبه خطاهای نسبی:

$$\Delta_{\text{ترسیم}} = \frac{11.7 - 8.71}{8.71} = \%34.3$$

$$\Delta_{\text{آزمایش}} = \frac{10.3 - 8.71}{8.71} = \%18.3$$

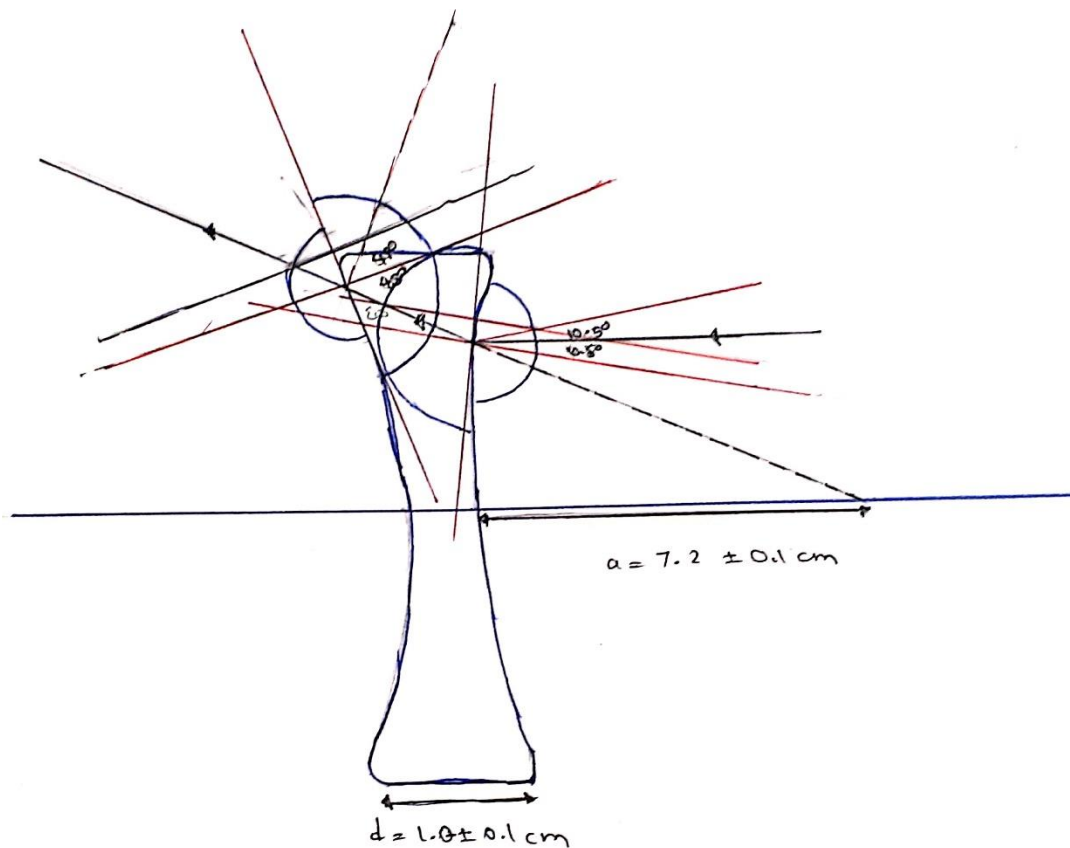
علت خطاهای این دو روش در آزمایش اول توضیح داده شده است.

آزمایش پنجم: اندازه گیری فاصله کانونی عدسی مقعر الطرفین

روش ترسیم:

<sup>۵</sup> توجه شود که یکی از شعاع انحنای منفی و دیگری مثبت است.

<sup>۶</sup> اینجا دیگر لاجرم صفحه اصلی را پیدا کرده ام و فاصله کانون تا آن را به دست آورده ام و خطاها همان دقت خط کش یعنی میلیمتر است.



تصویر ۴: روش ترسیم برای اندازه گیری فاصله کانونی عدسی مقعر الطرفین

پس از یافتن مقدار  $a$  بایستی آن را در روابط مربوطه جایگذاری کرده و مقدار فاصله کانونی را پیدا کنیم.

**روش آزمایش:**

در این روش از تصویر پاسخ نامه استفاده می کنیم و با امتداد دادن پرتو های خروجی مقدار  $a$  را به دست می آوریم.

$$a = 7.5 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm}$$

پس از یافتن مقدار  $a$  بایستی آن را در روابط مربوطه جایگذاری کرده و مقدار فاصله کانونی را پیدا کنیم.

**روش محاسبه:**

برای این عدسی از روی پاسخ نامه داریم که  $d = 1.0 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm}$  و همچنین شعاع ها آینه برابرند با:

$$R_1 = 8.0 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm} \text{ و } R_2 = 9.1 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm} \text{ ضریب شکست هوا هم که } 1.5 \text{ است، با}$$

داشتن همه ی این اطلاعات، می توانیم ضریب شکست را از رابطه

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) + d \frac{(n - 1)^2}{n R_1 R_2}$$

محاسبه کنیم.<sup>۷</sup>

با تمامی این روش ها فاصله کانونی را به دست آورده ایم و آن را در جدول وارد می کنیم.

جدول ۵-۵: فاصله کانونی مقعر الطرفین

قرص شفاف	فاصله کانونی
آزمایش	$7.8 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm}$
محاسبه	$8.2 \text{ cm} \pm 0.2 \text{ cm}$
ترسیم	$7.5 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm}$

محاسبه خطاهای نسبی:

$$\Delta_{\text{ترسیم}} = \frac{7.5 - 8.2}{8.2} = -\%8.5$$

$$\Delta_{\text{آزمایش}} = \frac{7.8 - 8.2}{8.2} = -\%4.9$$

علت خطاهای این دو روش در آزمایش اول توضیح داده شده است.

محاسبه خطا

همانطور که اشاره کردیم، ترسیم دستی دارای خطای ترسیم کننده است و بهتر است به کمک روش های رایانه ای از این شکل ترسیم بهره برد.

در روش آزمایش هم برای کاهش خطا می توان پهنای باریکه نور را کاهش داد تا بتوان دقیق تر محل برخورد را به دست آورد. گاهی پیش می آمد که پهنای باریکه در حد ۴ میلی متر بود و تشخیص این که پرتو ها کجا تقاطع کرده اند خطایی بیشتر از یک میلی متر خواهد داشت.

<sup>۷</sup> این دفعه هر دو شعاع انحنای منفی هستند.

اما بایستی توجه داشت که فاصله سنجی ها و به دست آوردن فواصل و شعاع انحنای ها همگی به کمک خط کش صورت گرفت که اگر با وسیله ای دقیق تر این کار صورت پذیرد، خطای آزمایش کمتر می شود.