# پراش فرانهوفر

**پارسا رنگریز**
۹۷۱۱۰۳۱۴

آزمایشگاه اپتیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف

۱۸ آبان ۱۴۰۰

## ۱ مدل و نظریه

مطابق قانون هویگنس هر نقطه از سطح موج را میتوان بصورت منبع موج جدید دانست. موقعی که سطح موج از شکافی عبور میکند این موجها در اثر تداخل با یکدیگر تولید پراش می‌کنند که مشخصات و شکل آن‌ها بستگی به شکل هندسی شکاف و طول‌موج نور دارد.

بطور کلی پدیده پراش تداخل ارتعاشاتی است که از نقاط مختلف سطح موج در اثر محدود بودن سطح عبور نور بوجود می‌آیند. بر حسب اینکه فاصله بین چشمه نورانی و پرده در چه حدودی باشد پیده پراش به دو قسمت پراش فرانهوفر و پراش فرنل تقسیم می‌کنند. در پراش فرانهوفر که موضوع این آزمایش است چشمه نورانی و پرده هر دو در فاصله زیادی از سطح پراش دهنده قرار دارند، یعنی پرتوهایی که به روزنه پراشنده می‌رسند، موازی بوده و سطح موج تخت خواهد بود و پراش حاصله مربوط به پرتوهای موازی است. در پراش فرنل چشمه نورانی و پرده‌ای که پراش روی آن تشکیل می‌شود در فاصله محدودی از مانعی که سبب پراش می‌شود قرار دارند، یعنی پرتوهایی که به روزنه پراشنده می‌رسند موازی بوده و سطح موج تخت خواهد بود و پراش حاصله مربوط به پرتوهای موازی است. در پراش فرنل چشمه نورانی و پرده‌ای که پراش روی آن تشکیل می‌شود در فاصله محدودی از مانعی است که سبب پراش می‌شود قرار دارند و امواجی که بوسیله مانع محدود می‌شوند کراتی به مرکز منبع نورانی هستند.

## ۲ وسایل آزمایش

لیزر هلیوم نئون، پایه لغزان، کولیس، پرده مشابه، تک شکاف قابل تغییر، پایه نگهدارنده اسلاید، ریل اپتیکی، روزنه مستطیل‌شکل، روزنه مثلث‌شکل، روزنه دایروی شکل، جسم $v$ شکل، سه تک سیم با قطرهای مختلف، لبه مستقیم، خطکش چوبی

## ۳ روش آزمایش

### ۱.۳ آزمایش اول: پراش از تک شکاف

لیزر هلیوم نئون را روشن کرده و تک شکاف قابل تنظیم را در محل مناسب آن قرار دهید و با تنظیم آن پراش حاصله از آن را روی پرده مشاهد کنید. اگر $i$ فاصله بین دو نوار متوالی (تاریک یا روشن) بوده و $D$ فاصله بین تک شکاف و پرده باشد، عرض شکاف یعنی $d$ از رابطه زیر بدست می‌آید:

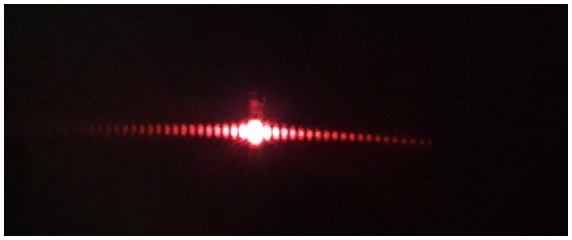
$$d = \frac{\lambda D}{i} \tag{۱}$$

پس از مشاهده پراش از تک شکاف الگوی پراش برای سه پهنای مختلف را مشاهده و در گزارش کار خود رسم کنید. برای یک پهنای مشخص از روی طرح پراش ایجاد شده فاصله بین پنج نوار متوالی (تاریک یا روشن) را برای محاسبه فاصله بین دو نوار با کمک کولیس اندازه‌گیری کرده و اعداد مربوط به این آزمایش را در جدول یادداشت کنید.

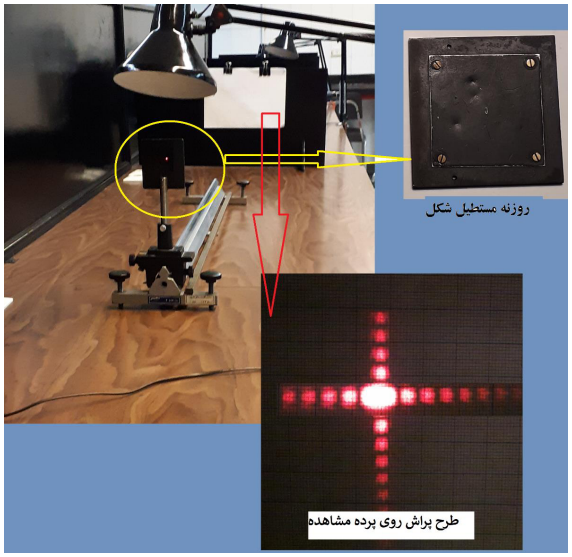
### ۲.۳ آزمایش دوم: پراش بوسیله روزنه مستطیل شکل

به این نکته توجه شود که در پراش بوسیله تک شکاف طول آن را نسبت به عرض آن بسیار طولانی فرض کرده و از پدیده‌های مربوط به دو انتهای شکاف صرف‌نظر می‌شود. حال اگر طول شکاف کم باشد، در این صورت شکل نوارهای پراش فرق خواهد کرد. با مشاهده پراش از روزنه مستطیل‌شکل طرح پراش را در گزارش کار خود رسم کنید.

شکل ۱: شکل آزمایش



شکل ۲: شکل پراش از تک شکاف



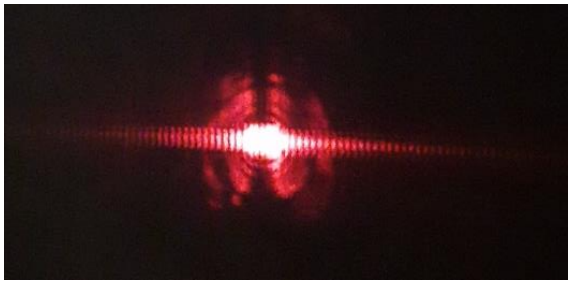

شکل ۳: شکل پراش ازروزنه مستطیلی‌شکل

## ۳.۳ آزمایش سوم: پراش بوسیله تک‌سیم

سه سیم با قطرهای مختلف در اختیار شما گذاشته شده است. با مشاهده پراش مربوط به هر یک از آن‌ها شکل نوارهای پراش مربوطه را در گزارش کار خود رسم کنید. سپس برای نازک‌ترین سیم فاصله دو نوار متوالی (روشن و یا تاریک) را با اندازه‌گیری ۵ نوار متوالی بدست آورده و با استفاده از رابطه بالا، قطر این سیتم را محاسبه کنید.

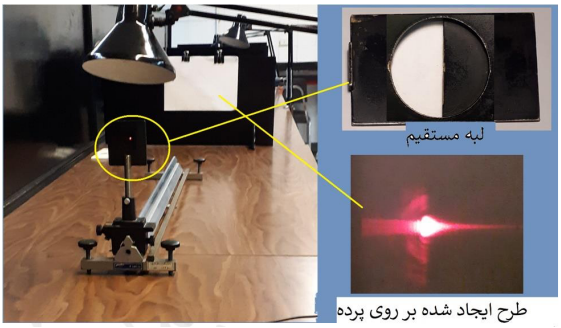
## ۴.۳ آزمایش چهارم: پراش از یک لبه مسقتیم

لبه مسقتیم را در محل آن قرار داده و با تنظیم آن پدیده پراش را روی پرده بوجود آورید. ملاحظه می‌کنید که علاوه بر پراش در ناحیه تابش نور در قسمت سایه هندسی نیز شدت نور صفر نیست و به صورت نمایی کافش می‌یابد. بطور کلی نشان داده شده است که شدت نور در نقطه سیاه هندسی در حدود قسمت روشن



شکل ۴: شکل پراش از تک‌سیم

است. شکل نوارهای پراش در گزارش کار خود ترسیم کنید.



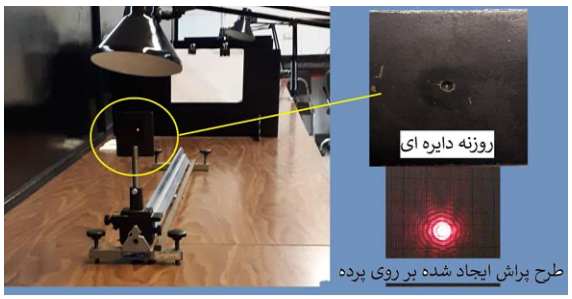

شکل ۵: شکل پراش از لبه مستقیم

## ۵.۳ آزمایش پنجم: پراش از روزنه دایره‌ای شکل

پراش نه تنها از لبه‌های صاف مانند تک شکاف و سیم نازک تشکیل می‌شود بلکه از لبه‌های غیرمسقتیم نیز بوجود می‌آید. پخش نور حاصل از پراش یک روزنه دایره‌ای را می‌توان بر روی پرده‌ای به فاصله $D$ (در حدود چند متر) از روزنه پراش مشاهده کرد. اگر $d$، شعاع روزنه‌ای دایره‌ای، خیلی کوچک بوده و فاصله $D$ هم زیاد باشد، یک دیسک روشن در مرکز و دایره‌های هم مرکز روشن در اطراف آن مشاهده می‌شوند. شعاع این دایره‌ها را می‌توان با محاسبه فاصله زاویه‌ای آن‌ها برای ایجاد اختلاف فازی برابر با $\pi$ محاسبه کرد. اختلاف بین شعاع نوارهای دایره‌ای عملا کمی بزرگ‌تر از فاصله بین فریزهای حاصل از تک‌شکاف می‌باشد و می‌توان به سه دایره اول بصورت زیر نوشت:

$$r_1 = 0.61\frac{\lambda D}{d}, \quad r_2 = 1.12\frac{\lambda D}{d}, \quad r_3 = 1.62\frac{\lambda D}{d} \qquad (۲)$$

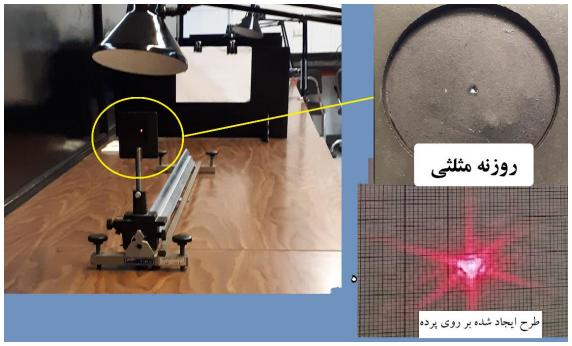
روزنه دایره‌ای خیلی ریز را در محل خود قرار داده و پراش مربوط به آن را مشاهده کرده و شکل پراش را در گزارش کار خود رسم کنید. با اندازه‌گیری شعاع سه دایره روشن اول الگو به ترتیب $r_1$، $r_2$ و $r_3$ را اندازه‌گیری کنید. با استفاده از روابط بالا مقدار نسبت شعاع‌ها را بدست آورده و نتایج را در جدول یادداشت کنید.




شکل ۶: شکل پراش ازروزنه دایره‌ای شکل

## ۶.۳ ازمایش ششم: پراش از روزنه مثلث‌شکل

روزنه مثلث شکل را در محل آن قرار داده و شکل الگوی پراش آن را رسم کنید. در شکل خود نشان دهید که چه قسمت‌هایی مربوط به پراش و چه قسمت‌هایی مربوط به سایه هندسی می‌شوند.




شکل ۷: شکل پراش ازروزنه مثلث‌شکل

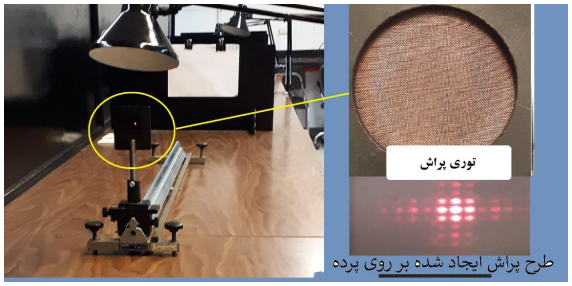
### ۷.۳ ازمایش هفتم: پراش از جسم $v$ شکل

جسم $v$ شکل را در محل مناسب آن قرار داده و پراش حاصله را مشاهده و شکل الگوی پراش را در گزارش کار خود رسم کنید.

شکل ۸: شکل پراش از جسم

### ۸.۳ پراش از شبکه توری

شبکه توری را در محل مناسب آن قرار داده و پراش حاصل از آن را مشاهده کرده و شکل الگوی پراش را در گزارش کار خود رسم کنید.




شکل ۹: شکل پراش از شبکه توری

## ۴ جدول داده‌ها

جدول ۱: جدول مربوط به آزمایش تک‌شکاف

| $d(mm) \pm 0.003mm$ | $D(mm) \pm 1mm$ | $i(mm) \pm 0.004mm$ | $n$ |
|---|---|---|---|
| 0.343 | 1.5 | 0.276 | 1 |
| 0.346 | 1.5 | 0.274 | 2 |
| 0.340 | 1.5 | 0.279 | 3 |

جدول ۲: جدول مربوط به آزمایش تک‌سیم

| $d(mm) \pm 0.003mm$ | $D(mm) \pm 1mm$ | $i(mm) \pm 0.004mm$ | $n$ |
|---|---|---|---|
| 0.211 | 1.5 | 0.450 | 1 |
| 0.210 | 1.5 | 0.454 | 2 |
| 0.210 | 1.5 | 0.453 | 3 |

جدول ۳: جدول مربوط به آزمایش روزنه دایره‌ای

| $r_3/r_2$ | $r_3/r_1$ | $r_2/r_1$ | $r_3(mm) \pm 0.02mm$ | $r_2(mm) \pm 0.02mm$ | $r_1(mm) \pm 0.02mm$ | $n$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.449 | 2.630 | 1.815 | 3.42 | 2.36 | 1.3 | 1 |
| 1.400 | 2.709 | 1.935 | 3.36 | 2.40 | 1.24 | 2 |
| 1.478 | 2.575 | 1.742 | 3.40 | 2.30 | 1.32 | 3 |

# ۵ خطا

## ۱.۵ آزمایش اول

در جداول بالا خطای $i$ را به این دلیل مقدار $0.004mm$ گزارش کردیم چون خطای اندازه‌گیری پنج نوار برابر با $0.02mm$ است. علاوه بر این، خطای اندازه‌گیری عرض شکاف به صورت زیر بدست می‌آید

$$d = \frac{\lambda D}{i} \implies \Delta D = \sqrt{\left(\frac{\lambda \Delta D}{i}\right)^2 + \left(\frac{\lambda D \Delta i}{i^2}\right)^2} = 0.0045mm \quad (۳)$$

## ۲.۵ آزمایش سوم

در جداول بالا خطای $i$ را به این دلیل مقدار $0.004mm$ گزارش کردیم چون خطای اندازه‌گیری پنج نوار برابر با $0.02mm$ است. علاوه بر این، خطای اندازه‌گیری عرض شکاف به صورت زیر بدست می‌آید

$$d = \frac{\lambda D}{i} \implies \Delta D = \sqrt{\left(\frac{\lambda \Delta D}{i}\right)^2 + \left(\frac{\lambda D \Delta i}{i^2}\right)^2} = 0.0053mm \quad (۴)$$

## ۳.۵ ازمایش پنجم

خطای اندازه‌گیری روزنه دایره‌ای به صورت زیر بدست می‌آید

$$r_{ij} = \frac{r_i}{r_j} \implies \Delta r_{ij} = \sqrt{\left(\frac{\Delta r_i}{r_j}\right)^2 + \left(\frac{r_i \Delta r_j}{r_j^2}\right)^2} \quad (۵)$$

از عوامل خطایی که می‌توان اشاره نمود عبارتند از: نور لیزر همگرا نیست و به این علت پدیده‌ای به نام زاویه واگرایی تشکیل می‌شود و دلیل آن این است که بردارهای موج در یک مخروط قرار می‌گیرند. دیگر عامل خطا سطح ناصاف ابزار اپتیکی است که مورد استفاده قرار گرفته است. برای مثال زنگ زدگی و اکسید شدن ابزارآلات باعث ایجاد ناهمگونی در طرح پراش می‌شود.

# ۶ نتیجه‌گیری

## ۱.۶ آزمایش اول

با میانگین‌گیری از اعداد بدست آمده در جدول ۱ می‌توان نوشت:

$$\boxed{\langle d \rangle = 0.344mm \pm 0.0045mm} \quad (۶)$$

## ۲.۶ آزمایش سوم

همین کار را برای جدول ۲ انجام می‌دهیم:

$$\boxed{\langle d \rangle = 0.210mm \pm 0.005mm} \quad (۷)$$

## ۳.۶ آزمایش پنجم

با توجه به جدول ۳ خواهیم داشت:

$$\boxed{\langle r_2/r_1\rangle = 1.8 \pm 0.1}, \quad \boxed{\langle r_3/r_2\rangle = 2.64 \pm 0.07} \quad \boxed{\langle r_3/r_2\rangle = 1.44 \pm 0.04} \tag{۸}$$

همچنین از محاسبه داریم:

$$\boxed{r_2/r_1 = 1.863, \quad r_3/r_2 = 2.655 \quad r_3/r_2 = 1.446} \tag{۹}$$

بنابراین خطای نسبی این‌ها نیز بدست می‌آید:

$$\boxed{E_1 = 1.7\% \quad E_2 = 0.72\% \quad E_3 = 0.28\%} \tag{۱۰}$$