

عنوان آزمایش:

پراش از شکاف، از دیافراگم با روزنه دایره‌ای و مانع دایره‌ای

اهداف آزمایش:

- ۱- بررسی پراش از یک شکاف در پهنای مختلف و تعیین پهنای شکاف
- ۲- بررسی پراش از یک مانع و تصدیق اصل بابینت^۱
- ۳- بررسی پراش از یک دیافراگم با روزنه دایره‌ای در قطرهای روزنه مختلف و تعیین قطر روزنه

وسایل مورد نیاز:

- ۱- دیافراگم با سه شکاف منفرد با پهنای مختلف
- ۲- دیافراگم با سه روزنه منفرد با قطرهای مختلف
- ۳- دیافراگم با سه شیء پراشی
- ۴- لیزر هلیوم-نئون با نور قطبیده خطی
- ۵- نگهدارنده دیافراگم
- ۶- عدسی همراه قاب $f=+5 \text{ mm}$
- ۷- عدسی همراه قاب $f=+50 \text{ mm}$
- ۸- میز (ریل) اپتیکی
- ۹- واگن
- ۱۰- پرده نمایش

تئوری آزمایش:

طبیعت نور یک موضوع مرسوم برای زمان طولانی است. در ۱۶۹۰، کریستین هویگنس نور را به صورت پدیده موجی تفسیر کرد، در حالی که در سال ۱۷۰۴ ایزاک نیوتن باریکه نور را به صورت جریانی از ذرات توصیف کرده بود. این تناقض با مکانیک کوانتومی، ایده دوگانگی موج-ذره، حل شد.

آزمایشات پراش گواه مشخصه موجی نور را ارائه می‌دهد.

پدیده پراش همیشه هنگامی رخ می‌دهد که انتشار آزاد نور به وسیله مانعی مانند دیافراگم روزنه‌ای یا شکاف‌ها دچار تغییر شود. این انحراف از خط سیر مستقیم انتشار که در این حالت مشاهده می‌شود، پراش نامیده می‌شود. هنگامی که پدیده پراش مطالعه می‌شود، دو نوع روش اجرایی آزمایشگاهی متمایز وجود دارد:

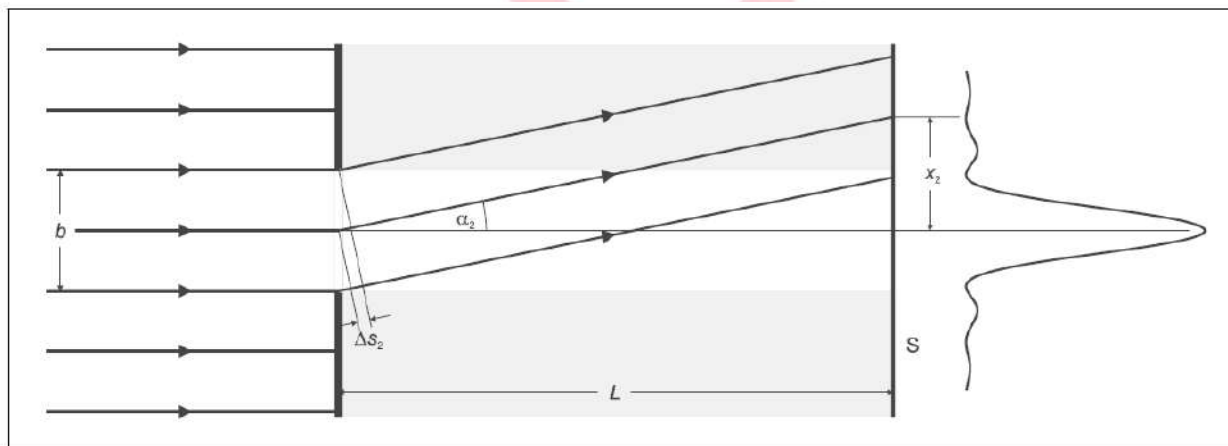
۱- پراش فرانهِوفر

۲- پراش فرنل

در حالت پراش فرانهِوفری، جبهه‌موج‌های موازی نور در جلو و پشت شیء پراشی مطالعه می‌شود. این حالت متناظر با منبع نوری است که در فاصله بی‌نهایت از شیء پراشی قرار دارد و از سوی دیگر پرده نمایش نیز در فاصله بی‌نهایت از شیء پراشی قرار می‌گیرد. در آزمایشگاه، این موضوع به کمک عدسی همگراکننده، که در مسیر پرتو، یعنی بین منبع نور و شیء پراشی، قرار می‌گیرد، به دست می‌آید.

در حالت پراش فرنلی، منبع نور و صفحه در فاصله‌ای متناهی از شیء پراشی قرار می‌گیرند. با افزایش فواصل، الگوهای پراش فرنلی بسیار شبیه به الگوهای پراش فرانهِوفری می‌شود. محاسبه الگوهای پراش در حالت پراش فرانهِوفری بسیار ساده‌تر است. بنابراین آزمایشی که در این بخش انجام می‌شود، بر اساس دیدگاه پراش فرانهِوفری است.

کتابخانه
کاشانی



پهنای شکاف b

فاصله بین پرده و شکاف L

فاصله کمینه دوم از مرکز x_2

جهتی که در آن دومین تداخل = مخرب مشاهده می شود α_2

اختلاف راه ΔS_2

پرده S

شکل (۱): طرحواره نمایش پراش نور از یک شکاف

پدیده پراش می تواند به وضوح به وسیله نور یک لیزر پر شدت همدوس مشاهده شود. پراش نور موازی فرودی بر شکاف سبب می شود نور در سایه هندسی شکاف (مساحت خاکستری در شکل (۱)) نیز انتشار یابد. علاوه بر آن، الگوی فرینج های روشن و تاریک روی پرده مشاهده می شود. این موضوع نمی تواند به وسیله قوانین اپتیک هندسی توضیح داده شود.

توضیح این موضوع تنها هنگامی ممکن است که خواص موجی در نور مشارکت داشته باشند و اگر الگوی پراش مشاهده شده روی پرده به صورت برهم نهی تعداد زیاد (بی نهایت) دسته های جزئی آمده از شکاف در نظر گرفته شود.

در جهات خاص، برهم نهی همه دسته های جزئی منجر به تداخل مخرب و سازنده می شود. شکل (۱) یک رهیافت ساده پیشنهاد می دهد که شرایط تولید فرینج های تاریک را مشخص می کند. فرینج های تاریک در موقعیتی رخ می دهد که هر دسته جزئی از یک نیمه شکاف با دقیقاً یک دسته جزئی از نیمه دیگر به گونه ای که یکدیگر را خنثی کنند، مرتب شوند. برای دسته جزئی آمده از یک شکاف با زاویه α_n ، این موضوع زمانی صحیح

است که اختلاف راه نوری بین پرتوی مرکزی و پرتوی لبه مضرب صحیح n از طول موج نور λ باشد:

$$\Delta S_n = n \frac{\lambda}{2} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

برای زوایای کوچک α و فاصله بلند پرده، L ، از تقریب زیر می‌توان استفاده کرد:

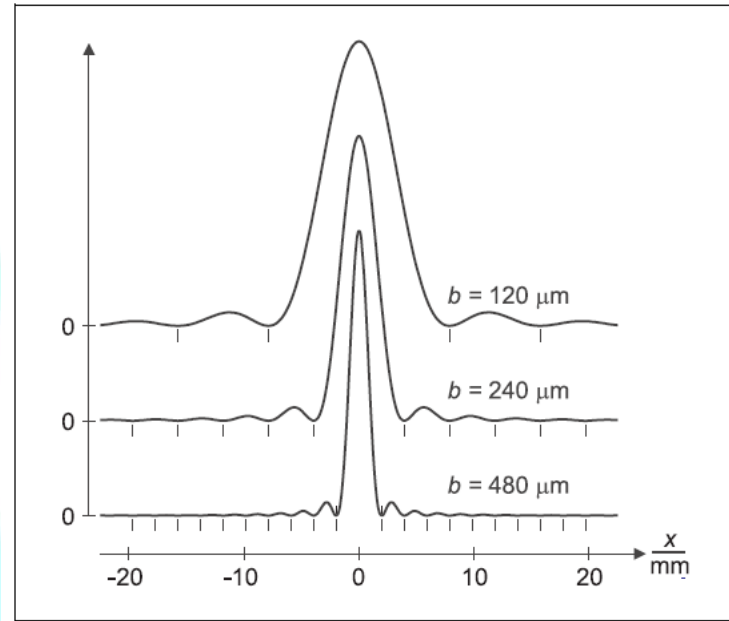
$$\frac{2\Delta S_n}{b} \approx \alpha_n \approx \frac{X_n}{L} \quad (2)$$

بنابراین، از شرایط تداخل مخرب (۱)، طول موج به دست می‌آید:

$$\lambda = \frac{X_n b}{n L} \quad (3)$$

این رابطه ارتباط بین طول موج λ و هندسه آزمایش را تدوین می‌کند. اگر پهنای شکاف b معلوم باشد، طول موج می‌تواند از رابطه (۳) تعیین شود. از سوی دیگر، می‌توان اندازه شیء پراشی را با استفاده از آزمایش پراش به کمک یک منبع نور تکفام با طول موج معلوم تعیین کرد.

برای محاسبه دقیق الگوی پراش، حالات نوسان همه دسته‌های جزئی که از شکاف می‌آید با بشمار آوردن اختلاف فاز آن‌ها، به یکدیگر افزوده می‌شوند. در نتیجه، دامنه شدت میدان نور پراشیده در موقعیت دلخواه x روی پرده به دست می‌آید. از توزیع دامنه $A(x)$ محاسبه شده از این روش، توزیع شدت $I=A^2(x)$ به آسانی به دست می‌آید. یک توزیع شدت نمونه حاصل از یک شکاف با پهنای b روی پرده نمایش در شکل (۲) نشان داده شده است. کمینه شدت الگوی پراش به طور مساوی موقعیت‌دهی شده‌اند. هرچه پهنای b بزرگ‌تر باشد بیشینه‌های شدت به سمت بیشینه اصلی مرتبه صفر جابه‌جا می‌شوند و در نتیجه فاصله بین دو کمینه کاهش می‌یابد.



شکل (۲): الگوی پراش شدت یک شکاف

پراش از یک مانع با پهنای برابر، مکمل پراش از یک شکاف است. بنابراین توزیع دامنه $A'(x)$ الگوی پراش مکمل توزیع دامنه $A(x)$ یک شکاف است؛ یعنی جمع $A(x)$ و $A'(x)$ برابر توزیع دامنه $A_0(x)$ است که روی پرده نمایش بدون حضور شیء پراشی مشاهده می‌شده است (اصل بابنیت). خارج تصویر منبع نور روی پرده نمایش، $A_0(x) = A(x) + A'(x)$ است. بنابراین شدت مرتبط با $I(x)$ و $I(x')$ در این ناحیه برابر است. به عبارت دیگر: در ناحیه خارج از تصویر منبع نور، الگوی پراش یکسانی برای شکاف و مانع مشاهده می‌شود. این بدان معنا است که در رابطه (۲) برای پراش از شکاف برای این حالت نیز برقرار است.

پدیده پراش از یک روزنه نیز به وضوح می‌تواند به کمک نور لیزر نمایش داده شود. یک حالت ویژه، که یک نقش اساسی برای توضیح پراش از شیء پراشی شکل دلخواه بازی می‌کند، با یک الگوی حلقه‌ای داده می‌شود که هنگامی که نور از یک روزنه با مرز دایره‌ای پراشیده می‌شود، رخ می‌دهد. هرچند، حتی در این حالت ویژه، تعیین نظری جهاتی که تداخل سازنده و ویرانگر رخ می‌دهد با محاسبات و روابط ریاضی می‌تواند صورت پذیرد. پس از محاسبات نه چندان پیچیده برای تداخل ویرانگر، مکان‌های زیر به دست می‌آید:

$$\frac{d_n}{2 \cdot L} = k_n \frac{\lambda}{D} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (۴)$$

$$k_1 = 1/220$$

$$k_2 = 2/232$$

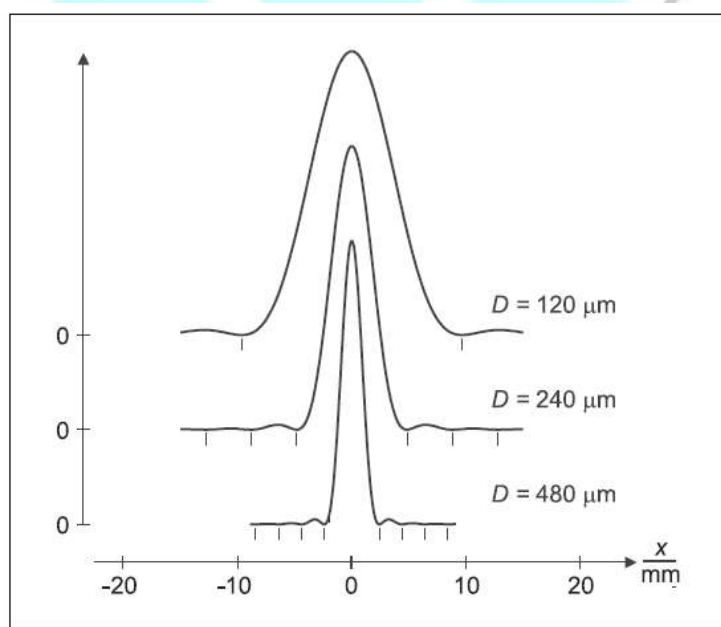
$$k_3 = 3/238$$

$D =$ قطر روزنه دیافراگم

$d_n =$ قطر n امین حلقه تاریک

$L =$ فاصله بین پرده و روزنه دیافراگم

در شکل (۳) بخش قطری توزیع شدت روی پرده نمایش برای روزنه‌های با قطرهای مختلف، D ، نشان داده شده است. اینجا کمینه‌ها به صورت مساوی موقعیت‌دهی نشده‌اند و ضریبی از k_n در معادله (۴) وجود دارند که فواصل مساوی را نمایش نمی‌دهد. با افزایش n ، فاصله به مقدار یک میل می‌کند.



شکل (۳): توزیع شدت الگوی پراش یک دیافراگم با روزنه دایره‌ای (بخش قطری)

نکات ایمنی:

لیزر هلیوم-نئون الزامات کلاس ۲ استاندارد EN 60825-1 «ایمنی تجهیزات لیزری» را برآورده می‌کند، اگر نکات متناظر آن برگه ایمنی مشاهده و اجراء شود، آزمایش با لیزر هلیوم-نئون ایمن است.

❖ هرگز به باریکه لیزری مستقیم و به صورت بازتابی نگاه نکنید.

❖ مشاهده‌گر نباید به نور لیزر خیره شود.

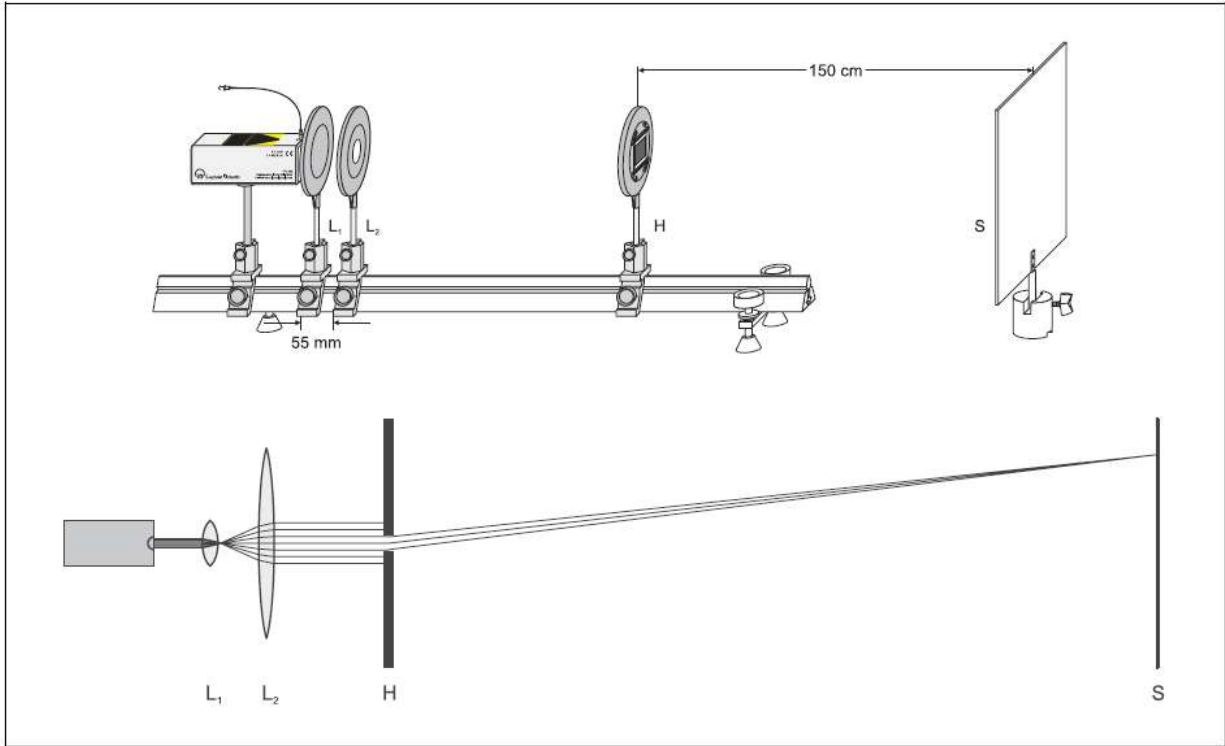
روش انجام آزمایش:

توجه کنید که تنظیم بهتر است در داخل اتاق نسبتاً تاریک انجام شود.

کل چیدمان آزمایش در شکل (۴) نمایش داده شده است. در ابتدا، عدسی کروی L_1 با فاصله کانونی $f=5 \text{ mm}$ باریکه لیزری را گسترانیده می‌سازد. به دنبال آن عدسی همگراکننده L_2 با فاصله کانونی $f=50 \text{ mm}$ به گونه‌ای قرار داده می‌شود که باریکه لیزری را موازی کند. این عمل منجر به آن می‌شود که باریکه لیزری موازی و پهن شده و در امتداد محور نوری انتشار یابد.

نکات مورد توجه:

- ۱- برای انجام این عمل از واگن‌های متحرک (شکل (۴)) استفاده کنید.
- ۲- نگهدارنده H برای شیء پراشی را بردارید.
- ۳- موقعیت عدسی همگراکننده با فاصله کانونی $f=50 \text{ mm}$ در فاصله تقریباً 55 mm از عدسی کروی L_1 است.
- ۴- عدسی L_2 را نسبت به عدسی L_1 آنقدر جابه‌جا کنید تا باریکه خروجی موازی شود (باید باریکه لیزری پروفایل دایره‌ای ثابتی در امتداد محور نوری داشته باشد).
- ۵- به منظور آن که واریسی کنید که آیا قطر باریکه لیزری بین عدسی L_2 و پرده ثابت است یا خیر، یک ورقه کاغذ در امتداد مسیر پرتو قرار داده و پروفایل باریکه لیزری را در امتداد محور نوری دنبال کنید.
- ۶- نگهدارنده شیء پراشی را در مسیر پرتو بازگردانید و جابه‌جا کنید تا فاصله شیء پراشی و پرده $1/50 \text{ m}$ شود.
- ۷- اگر ضروری است، عدسی L_2 را کمی جابه‌جا کنید تا الگوی پراش با کیفیت مناسب تصویردهی شود.



$L_1 = f = +5 \text{ mm}$ عدسی با فاصله کانونی $H =$ نگهدارنده اشیاء پراشی

$L_2 = f = +50 \text{ mm}$ عدسی با فاصله کانونی $S =$ پرده نمایش

شکل (۴): چیدمان آزمایش (بالا) و طرحواره نمایش مسیر پرتو (پایین) برای مشاهده پراش از شکاف، در یک مانع و در یک دیافراگم روزنه دایره‌ای

الف- پراش از شکاف

❖ شکاف A ($b = 0.48 \text{ mm}$)، B ($b = 0.24 \text{ mm}$) و C ($b = 0.12 \text{ mm}$) در مسیر پرتو قرار دهید و پدیده پراش را وابسته به پهنای شکاف مشاهده کنید.

❖ شکاف C را در نگهدارنده H قرار دهید. ورقه کاغذ را روی پرده قرار دهید و تصویر الگوی پراش را روی صفحه ببینید.

❖ با استفاده از یک مداد نرم موقعیت کمینه‌های شدت (فرینج‌های تاریک) را علامت بزنید.

❖ فواصل X_n را اندازه‌گیری کرده و مقادیر $\frac{X_n}{n}$ را محاسبه کنید.

جدول (۱) را برای شکاف C کامل کنید.

جدول (۱): فواصل X_n کمینه‌های شدت از بیشینه مرتبه صفر شدت

مرتبه کمینه شدت	$X_n (mm)$	$X_n/n (mm)$
۱		
۲		
۳		
۴		
۵		
۶		
۷		
۸		

طول موج $\lambda = 633 \text{ nm}$

فاصله از پرده $L = 1.50 \text{ m}$

مقدار $\left\langle \frac{X_n}{n} \right\rangle$ را محاسبه کرده و اندازه شکاف را محاسبه کنید.

ب- پراش از مانع

- ❖ یکی پس از دیگری موانع B ($b = 0.4 \text{ mm}$) و A ($b = 0.2 \text{ mm}$) را در مسیر پرتو قرار دهید.
- ❖ پدیده پراش را مشاهده کرده و با پراش از شکاف مقایسه کنید.

پ- پراش از یک دیافراگم با روزنه دایره‌ای

- ❖ یکی پس از دیگری دیافراگم A ($D = 0.48 \text{ mm}$)، B ($D = 0.24 \text{ mm}$) و C ($D = 0.12 \text{ mm}$) را در مسیر پرتو قرار دهید و پدیده پراش وابسته به قطر روزنه را مشاهده کنید.
- ❖ دیافراگم روزنه C را مجدداً در مسیر پرتو قرار دهید.
- ❖ ورقه کاغذ را روی پرده نمایش قرار دهید، با استفاده از مداد نرم، موقعیت کمینه‌های شدت (فرینج‌های تاریک) را علامت بزنید.

❖ قطر d_n حلقه‌های تاریک را اندازه‌گیری کرده و مقادیر d_n/k_n را محاسبه کنید.

توجه - گاهی الگوی حلقه در برخی از نقاط اندکی دچار اعوجاج می‌شود که به دلیل انحراف مختصر دایره روزنه از شکل دایره‌ای کامل است.

❖ جدول (۲) را تکمیل کنید.

❖ جدول (۲): قطرهای d_n کمینه‌های شدت از بیشینه مرتبه صفر شدت

مرتبۀ کمینه شدت	d_n (mm)	d_n/k_n (mm)
۱		
۲		
۳		

طول موج $\lambda = 633 \text{ nm}$

فاصله از پرده $L = 1.50 \text{ m}$

مقدار $\left\langle \frac{d_n}{k_n} \right\rangle$ را محاسبه کرده و اندازه D روزنه را محاسبه کنید.