

نور شناخت موجی

آزمایش شماره [۴]

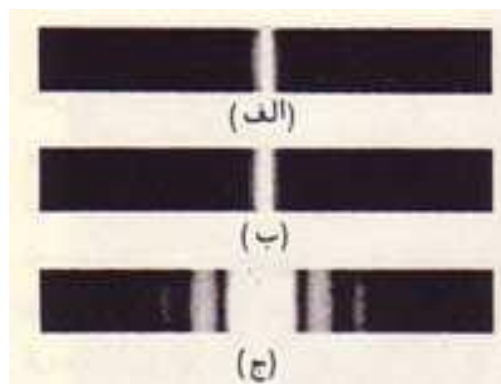
هدف آزمایش : محاسبه طول موج نور مجهول به وسیله نقش پراش حاصل از شکافی با پهنای معلوم ، محاسبه عرض شکاف مجهول به وسیله نقش پراش حاصل از نور با طول موج بدست آمده در مرحله ی نخست

لوازم مورد نیاز : شکاف معلوم، لیزر، خط کش، پایه نگهدارنده اسلاید ، اسلاید با سه شکاف مجهول ، پرده

مبانی نظری آزمایش

دیدگاه هندسی نور و نگریستن به آن به صورت پرتوهایی که بر روی خط مستقیم حرکت می کنند، برای برخی پدیده های نوری جوابگوست. اما در پدیده های *تداخل* و *پراش* و... جوابگو نیست. هر گاه نور از شکافی باریک عبور کند و یا به مانع کوچکی برخورد کند که ابعاد آن در مرتبه طول موج آن باشد، رفتاری غیر هندسی ظاهر شده و نور از راستای مستقیم انحراف می یابد و حتی می تواند مانع را دور بزند و دیگر سایه و روشن هندسی نباشد.

بخش (الف) پراش از یک تک شکاف به پهنای ۶ میکرون را که روی پرده ای در ۵۰ سانتی متری از آن می افتد نشان می دهد . در بخش (ب) پهنای شکاف نصف شده و در بخش (ج) پهنای شکاف به یک هفتم پهنای آن در شکل الف کاهش داده شده است .



شکل ۴-۱

در شکل ۴-۱ اثر نور فرودی به شکاف را مشاهده می کنیم. هر چه ابعاد شکاف بزرگتر باشد، انحراف نور از حالت هندسی کمتر است اما هر چه پهنای شکاف کمتر شود، نور بیشتر به تاریکی هندسی نفوذ می کند که این پدیده را *پراش* گویند. همچنین رفتار مشابهی را برای نوری که از یک مانع مانند تار نازک (سیم مویی) عبور می کند نیز شاهد خواهیم بود .

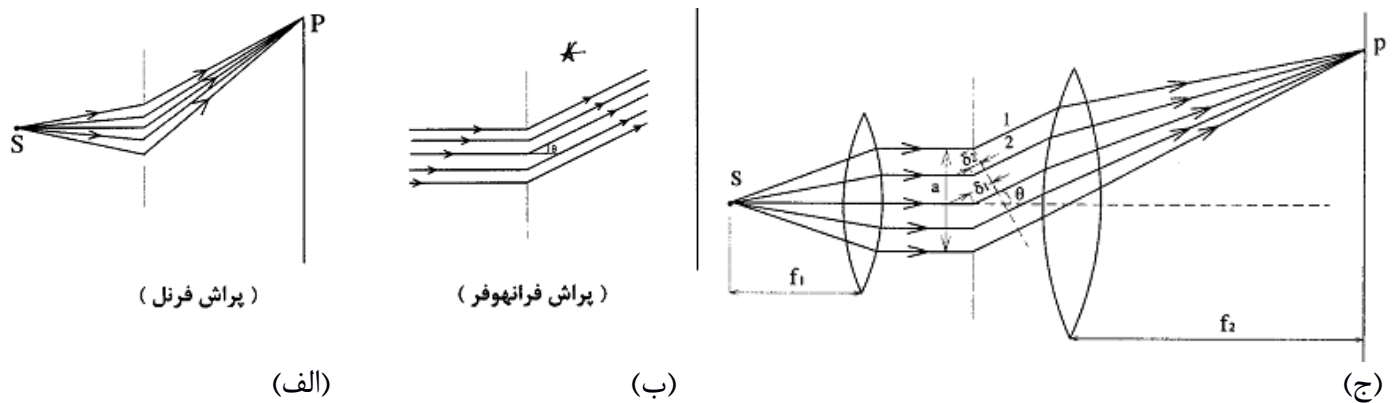
اصل هویگنس ؛ هویگنس در سال ۱۶۷۸ یک نظریه موجی برای نور پیشنهاد کرد که علاوه بر پدیده‌های موجی نور، قوانین بازتاب و شکست را نیز توضیح می‌دهد. از نظر ریاضی ساده‌تر از قوانین ماکسول بوده و برای آموزش و برخی موارد عملی می‌توان از آن استفاده کرد. نظریه هویگنس فرض می‌کند که نور یک موج است نه یک جریان ذره‌ای. این نظریه بر پایه یک ساختمان هندسی به نام اصل هویگنس استوار است و به کمک آن می‌توانیم محل یک سطح موج را در هر لحظه در آینده بدانیم. تنها کافی است محل کنونی آن مشخص باشد. بیان این اصل به صورت زیر است:

" همه نقاط یک سطح موج می‌توانند در ایجاد موجک‌های کروی ثانویه، چشمه‌های جدید کروی به حساب آیند. وضعیت جدید سطح موج بعد از زمان Δt صفحه‌ای است مماس بر این موجک‌ها. " هویگنس یک روش ترسیمی برای نمایش گذار از یک سطح موج به سطح موج دیگر ارائه داده است. سطح موج S را در نظر بگیرید، هنگامی که حرکت موجی به این سطح می‌رسد، هر ذره روی سطح S (نقاط روی سطح تخت و کروی AB) یک چشمه ثانویه موج تشکیل می‌دهند و امواج ثانوی گسیل می‌کنند. (به صورت نیم‌دایره‌های کوچک نشان داده شده) حال سطح موج بعدی S' را تشکیل می‌دهند. سطح S' (نقاط روی سطح تخت و کروی $A'B'$) بر تمام امواج ثانوی مماس است. این فرایند ادامه پیدا می‌کند و در نتیجه آن موج از داخل محیط عبور می‌کند.

پراش ؛ یکی دیگر از پدیده‌های دارای حرکت موجی نور را پراش می‌نامند. پراش هنگامی مشاهده می‌شود که موجی بر اثر برخورد با مانعی به ابعاد قابل مقایسه با طول موج واپیچیده می‌شود. مانع ممکن است به صورت روزنه یا شکاف کوچکی روی پرده باشد که تنها بخش کوچکی از جبهه موج تابشی را از خود عبور می‌دهد. همچنین ممکن است مانع جسم کوچکی چون سیم باشد که مانع راه بخش کوچکی از جبهه موج شود. برای مشاهده پراش می‌توان از شکاف بین دو انگشت به چشمه نوری مانند یک لامپ نئون که در فاصله دوری قرار دارد، نگاه کرد و یا از پشت پارچه نازک به یک چراغ دوردست نگاه کرد.

پراش فرنل و فرانهور

حالت کلی پراش که به پراش **فرنل** مشهور است، چشمه نور نقطه‌ای و پرده‌ای که نقش پراش روی آن دیده می‌شود، در فاصله محدودی از شکاف قرار دارند. در نتیجه پرتوهایی که از چشمه می‌آیند و پرتوهایی که به نقطه p پرده می‌رسند، موازی نیستند. هر گاه چشمه نور و پرده نمایش پراش به فاصله دوری از شکاف قرار داشته باشند، پراش را **فرانهور** می‌نامند. در این حالت نور فرودی بر شکاف موازی تابیده و موازی به طرف پرده تابیده می‌شود. اما می‌توان با قرار دادن دو عدسی در دو طرف شکاف، شرایط پراش فرنل ایجاد کرد. (شکل ۲-۴)



شکل ۲-۴

پراش تک شکاف

برای محاسبه شدت پراش ناشی از یک شکاف بر روی پرده از حالت پراش فرانهوفر استفاده می‌کنیم. پرتوهایی که بر شکاف می‌تابند، هر نقطه‌ای از آن طبق اصل هویگنس خود مانند یک چشمه نقطه‌ای رفتار می‌کنند. معادله دامنه هر چشمه کروی را چنین می‌نویسیم:

$$E = \left(\frac{\epsilon_0}{r}\right) \sin(\omega t - kr)$$

که ϵ_0 قدرت چشمه بوده و دامنه موج به طور عکس با فاصله r از چشمه بستگی دارد. حال می‌توان پرتوهای پراشیده از شکاف را به صورت N چشمه نقطه‌ای (N نهایتاً به سمت بی‌نهایت می‌رود) تصور کرد. دامنه ناشی از یک جزء نور پراشیده برابر است با:

$$E = \left(\frac{\epsilon_0}{r_i}\right) \sin(\omega t - kr_i) \left(\frac{N \Delta y_i}{D}\right)$$

چشمه‌های نقطه‌ای در طول Δy_i با یکدیگر اختلاف فاز قابل ملاحظه‌ای ندارند (به علت کوچکی Δy_i) و در نتیجه با هم جمع می‌شوند. با زیاد کردن N و در حالت حدی به سمت بی‌نهایت رفتن آن باعث می‌شود که جزءهای نور پراشیده دقیقاً به صورت چشمه‌های نقطه‌ای در نظر گرفته شود.

با تعریف قدرت چشمه در واحد طول یعنی $\epsilon_L = \frac{1}{D} \lim_{N \rightarrow \infty} (\epsilon_0 N)$ دامنه کلی ناشی از شکاف برابر است با:

آزمایشگاه اپتیک

دانشگاه کاشان

$$E = \sum_{i=1}^M \frac{\varepsilon_L}{r_i} \sin(\omega t - kr_i) \Delta y_i$$

و در حالت حدی ($N \rightarrow \infty$) جمع بالا به صورت انتگرال بر روی پهنای شکاف تبدیل می شود:

$$E = \varepsilon_L \int_{-\frac{b}{2}}^{+\frac{b}{2}} \frac{\sin(\omega t - kr)}{r} dy$$

هر گاه فاصله نقطه مشاهده شده بر روی پرده به نسبت پهنای شکاف بزرگ باشد، $R \gg b$ می توان مقدار r را در فاز $\sin\theta$ و در مخرج کسر بسط داده و در مخرج $R \approx r$ و در صورت $r = R - y\sin\theta$ را تقریب زد و در نتیجه:

$$E = \frac{\varepsilon_L}{R} \int_{-\frac{b}{2}}^{+\frac{b}{2}} \sin[\omega t - k(R - y\sin\theta)] dy = \frac{b\varepsilon_L \sin\left(\frac{kb}{2}\sin\theta\right)}{R \frac{kb}{2}\sin\theta} \sin(\omega t - kR)$$

و با ساده کردن عبارت $\frac{kb}{2}\sin\theta = \beta$ چنین می نویسیم:

$$E = \frac{b\varepsilon_L \sin\beta}{R \beta} \sin(\omega t - kR)$$

و شدت نور پراشیده برابر است با:

$$I(\theta) = \langle E^2 \rangle = \frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon_L}{R}\right)^2 \left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2$$

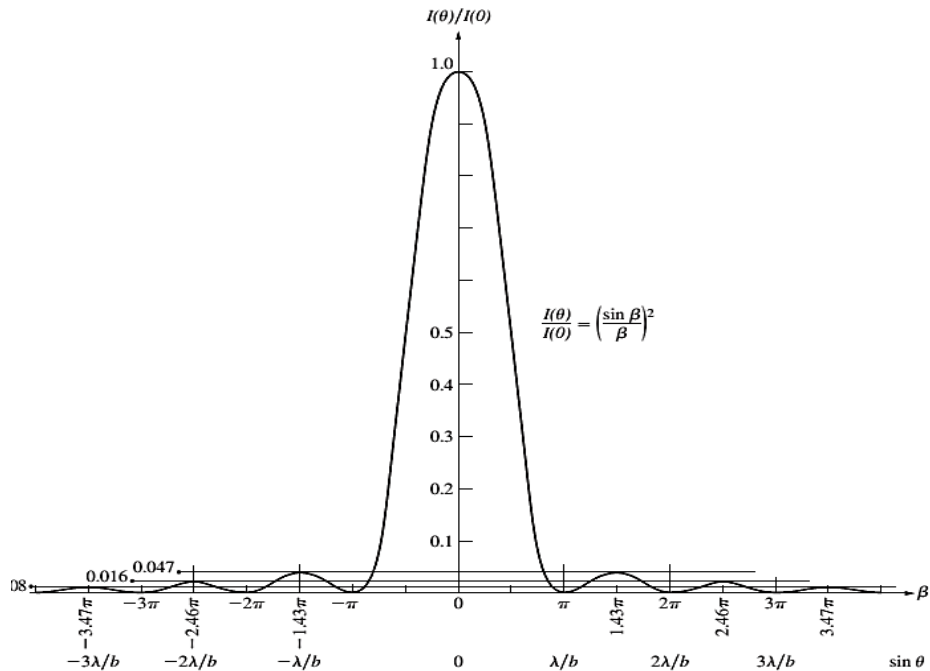
که در آن $\langle \sin^2(\omega t - kR) \rangle = \frac{1}{2}$ است. حال اگر مقدار آن در زاویه صفر باشد،

$$I(\theta) = I(0) \left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2$$

برای یافتن نقاط ماکزیمم و مینیمم پراش بر روی پرده، می توان مشتق شدت را برابر صفر گرفت:

$$\begin{cases} \sin\beta = 0 \rightarrow \beta = \pm\pi, \pm 2\pi, \dots, \pm k\pi \\ \tan\beta = 0 \rightarrow \beta \cong \left(k + \frac{1}{2}\right)\pi \end{cases} \quad \frac{dI}{d\theta} = I(0) \frac{2\sin\beta(\beta\cos\beta - \sin\beta)}{\beta^3} = 0$$

نقش شدت پراش فرانهوفر را بر حسب زاویه β می توان در شکل ۳-۴ بعد مشاهده کرد .

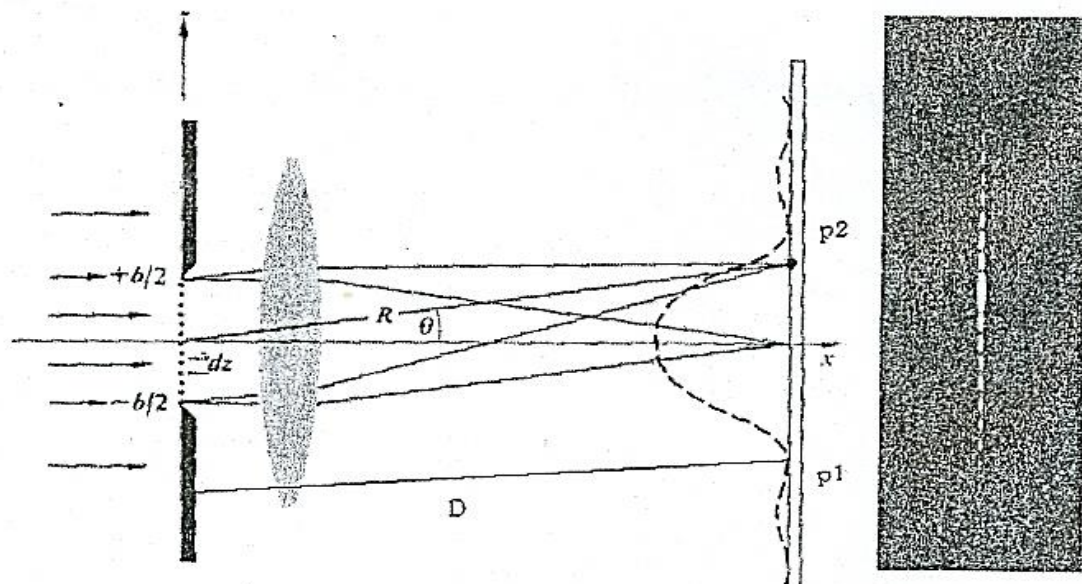


شکل ۳-۴

حال شکافی به پهنای b را در نظر بگیرید که نوری تک فام و موازی چون نور لیزر بر شکاف می تابد. نقش پراش حاصل از آن را بر روی پرده ای در فاصله D از شکاف بررسی می کنیم. به ازای اولین کمینه در پراش می توان لکه روشن اولی (لکه مرکزی) را تمام شده دانست. این کمینه به ازای $\beta = \pi$ اتفاق می افتد.

$$b \sin \theta = b \left(\frac{d}{2D} \right) = \lambda \rightarrow b = \frac{2D}{d} \lambda \quad \sin \theta \approx \tan \theta = \frac{d}{D} = \frac{d}{2D} \quad \frac{kb}{2} \sin \theta = \pi \rightarrow b \sin \theta = \lambda$$

در این رابطه d پهنای لکه مرکزی ($p_1 p_2$) است ، λ طول موج نور تک فام تابیده بر شکاف ، b عرض شکاف و D فاصله شکاف تا پرده نمایش است . حال می توان با اندازه گیری d و D به ازای طول موج معلوم ، عرض شکاف و یا با مشخص بودن عرض شکاف ، طول موج نور مجهولی را برای پرتو اندازه گیری و یا به عبارتی طیف سنجی کرد.



شکل ۴-۴

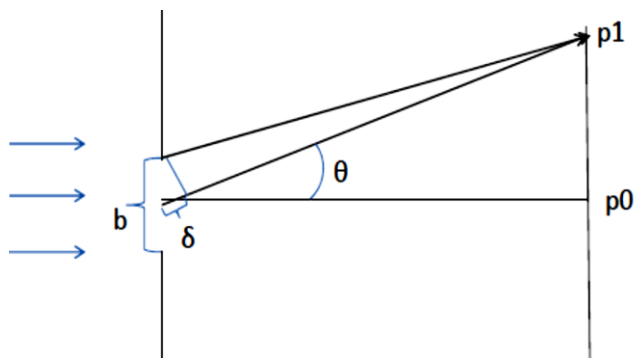
پراش تک شکاف (نگاه ساده)

نور تک فامی را که بر شکافی می‌تابد، در نظر بگیرید پرتویی که از وسط شکاف عبور کرده و به نقطه p_0 می‌رسد، و دیگر پرتوها که از نقاط مختلف به این نقطه می‌رسند هم فاز بوده و بنابراین این نقطه مرکز روشنایی است. حال به نقطه p_1 دقت می‌کنیم و دو پرتو از شکاف را (یکی از وسط و دیگری از لبه بالای شکاف) را در نظر می‌گیریم.

اختلاف را این دو پرتو δ برابر است با $\frac{b}{2} \sin \theta - \frac{b}{2} \sin \theta$

هر گاه این اختلاف راه نصف طول موج، یعنی $\frac{\lambda}{2}$ باشد این نقطه تاریک است. بنابراین:

$$\frac{b}{2} \sin \theta = \frac{\lambda}{2} \rightarrow b \sin \theta = \lambda$$



شکل ۴-۵

که البته همان جواب ارایه شده در بحث قبل است. این معادله نشان می‌دهد که هر چه شکاف باریکتر، یعنی مقدار b در نمودار کوچکتر باشد، θ بزرگتر و بیشینه مرکزی پهنتر خواهد بود. به عنوان مثال به ازای $b = \lambda$ ، اندازه θ برابر نود درجه است. یعنی هر گاه پرتویی با طول موج λ به شکافی به پهنای λ تابیده شود، بیشینه مرکزی تمام پرده را پوشانده و آن را روشن می‌کند. می‌توان با تقسیم کردن شکاف به تکه‌های کوچک و در نظر گرفتن هر تکه مشابه یک

آزمایشگاه اپتیک

دانشگاه کاشان

پرتو (مشابه بحث ارایه شده در بخش قبل) محل کمینه‌های دیگر پراش را نیز مشخص کرد محل کمینه‌های شدت پراش روی پرده چنین خواهد بود $b \sin \theta = K \lambda$ که K مرتبه کمینه‌های پراش است به نحوی که به ازای $K=1$ کمینه اول و لکه مرکزی بدست می‌آید.

شرح آزمایش

مرحله ی ۱) محاسبه طول موج لیزر

لیزر را در فاصله مورد نظر تنظیم و نور آنرا عمود بر پرده (دیوار) بتابانید. سپس شکاف قابل تنظیم را پس از تنظیم پهنای مورد نظر در مقابل نور لیزر قرار دهید پس از مشاهده پراش جدول زیر را پر کنید.

| عرض شکاف b (mm) | فاصله شکاف تا پرده D (m) | پهنای لکه مرکزی d | طول موج لیزر λ | طول موج متوسط $\bar{\lambda}$ | $\frac{\Delta \lambda}{\bar{\lambda}}$ |
|----------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------------|----------------------------------|--|
| ۰.۱۲ | ۶ | | | | |
| | ۹ | | | | |
| ۰.۲۴ | ۶ | | | | |
| | ۹ | | | | |
| ۰.۴۸ | ۶ | | | | |
| | ۹ | | | | |

جدول شماره ۱

مرحله ی ۲) محاسبه ی عرض شکاف

تنظیم لیزر مانند قبل است. اسلاید را مقابل لیزر به ترتیب بر شکاف تنظیم کرده ، نقش پراش را بر دیوار واضح کنید. طول موج لیزر همان مقدار بدست آمده در قسمت الف منظور شود. حال جدول ۲ را پر کنید.

| اسلاید | فاصله شکاف تا پرده D (m) | پهنای لکه مرکزی d | عرض شکاف b (mm) | عرض متوسط شکاف \bar{b} | $\frac{\Delta b}{\bar{b}}$ | |
|--------|-----------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------------|--|
| A | ۶ | | | | | |
| | ۹ | | | | | |
| B | ۶ | | | | | |
| | ۹ | | | | | |
| C | ۶ | | | | | |
| | ۹ | | | | | |

جدول شماره ۲

تکالیف :

*** خطای نسبی طول موج تئوری مرحله ی ۱ را محاسبه کرده و با خطای عملی مقایسه کنید.

*** خطای نسبی طول موج تئوری مرحله ی ۲ را نیز محاسبه کرده و با خطای عملی مقایسه کنید.

*** شکافی تهیه کرده و سعی کنید با استفاده از لبه‌های کولیس پهنای آنرا محاسبه و درصد خطا را بدست آورید.

*** به وسیله برش نازک پشت آینه سعی کنید شکافی برای دیدن پراش تهیه کنید.