

عنوان آزمایش:

پراش از دو شکاف

اهداف آزمایش:

- ۱- بررسی پراش از دو شکاف با فواصل مختلف
- ۲- بررسی پراش از دو شکاف با پهناهای مختلف
- ۳- بررسی پراش از شکاف‌های چندتایی برای تعداد مختلف شکاف

وسایل مورد نیاز:

- ۱- دیافراگم با سه دو شکاف؛
- ۲- دیافراگم با چهار دوشکاف؛
- ۳- دیافراگم با پنج چندشکاف؛
- ۴- لیزر هلیم-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 اپتیکی؛
- ۱۰- پرده نمایش نیم‌شفاف؛
- ۱۱- پایه زینی.

تئوری آزمایش:

طبیعت نور یک موضوع مرسوم برای زمانی طولانی بود. در سال ۱۶۹۰، کریستین هویگنس نور را به صورت پدیده موجی تفسیر کرد؛ در سال ۱۷۰۴ ایزاک نیوتن توضیح داد که باریکه نور به صورت جریانی از ذرات است. این تناقض به وسیله سازوکار کوانتومی و ایده دوگانگی موج-ذره مرتفع شد.

پراش از دو شکاف

نشانگر واضح خاص مشخصه موج نور به وسیله آزمایش پراش در یک دو شکاف به وسیله توماس یانگ ارائه شد. امروزه این آزمایش به آسانی می تواند به وسیله نور همدوس و پرشدت لیزر هلیوم-نئون بازتولید شود.

به دلیل پراش نور موازی فرودی از دو شکاف نزدیک به یکدیگر با درجه مساوی، نور به سایه هندسی شکاف (مساحت خاکستری در شکل (۱)) نیز منتشر می شود. علاوه بر آن، یک سامانه از فرینج های روشن و تاریک روی پرده نمایش پشت دو شکاف مشاهده می شوند. این موضوع با استفاده از قوانین اپتیک هندسی نمی تواند توضیح داده شود.

اگر خواص موجی منتسب به نور در نظر گرفته شود و اگر شکاف ها به صورت دو منبع همدوس نور در نظر گرفته شوند که دسته پرتوهای نور آن ها با یکدیگر برهم نهی می کنند، توضیح این موضوع امکان پذیر می شود. برهم نهی منجر به تداخل سازنده و ویرانگر در جهت های خاص می شود. در یک رهیافت ساده، دسته پرتوهای نور آمده از شکاف ها ابتدا به دسته پرتوهای جزئی زیادی (بی نهایتی) تقسیم می شوند. سپس، به کمک شکل (۱) به وضوح مشخص می شود که شدت بیشینه در جهاتی رخ می دهد که در آن دقیقاً یک دسته پرتو جزئی از شکاف دوم وجود دارد که متناظر با یک دسته پرتوی جزئی از شکاف اول است به گونه ای که هر دو به صورت سازنده با یکدیگر تداخل می کند. برای دسته پرتوهای نوری که تحت زاویه α_n خارج می شوند، این موضوع زمانی صحیح است که اختلاف راه ΔS_n بین پرتوهای اصلی (رسم شده در شکل) ضریب صحیحی از طول موج λ نور باشد:

$$\Delta S_n = n \cdot \lambda, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1)$$

برای زوایای کوچک پراش رابطه زیر به صورت تقریبی برقرار است:

$$\frac{\Delta S_n}{d} \approx \alpha_n \approx \frac{x_n}{L} \quad (2)$$

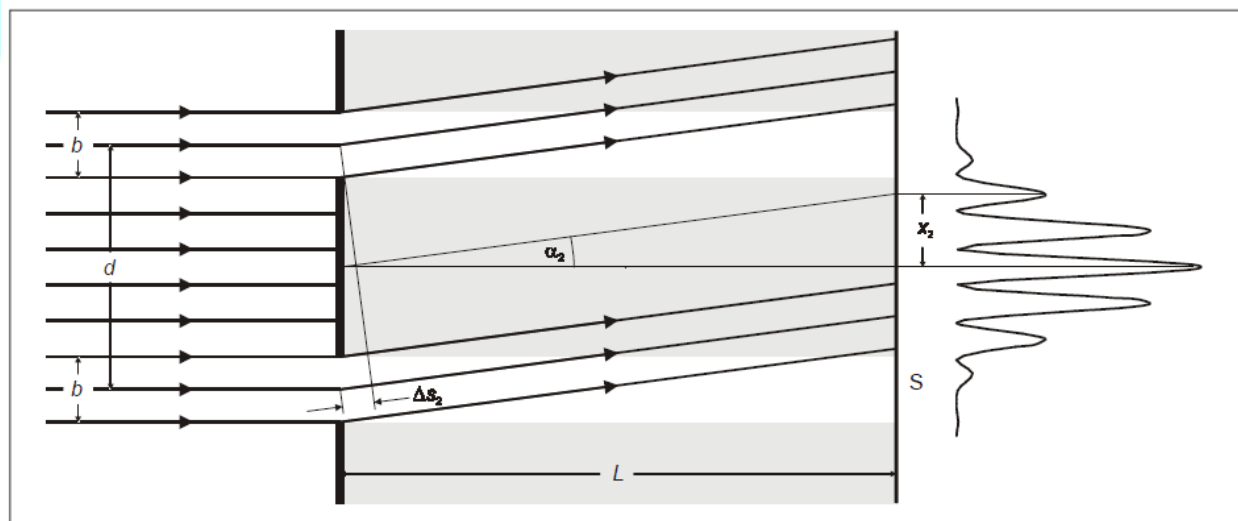
بنابراین، بیشینه‌های شدت در موقعیت‌های زیر روی پرده رخ می‌دهد (اندازه‌گیری از مرکز الگوی پراش انجام می‌شود):

$$x_n = n \cdot L \cdot \frac{\lambda}{d} \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (3)$$

یعنی؛ آن‌ها در فاصله زیر فاصله‌دهی شده‌اند:

$$a = x_{n+1} - x_n = L \cdot \lambda \cdot \frac{1}{d} \quad (4)$$

دقیقاً در میان دو شدت بیشینه یک شدت کمینه وجود دارد. بنابراین فاصله بین یک کمینه و کمینه مجاور آن نیز با استفاده از رابطه (۴) ارائه می‌شود.



L = فاصله بین پرده و دو شکاف

d = فاصله بین دو شکاف

b = پهنای شکاف

ΔS_2 = اختلاف راه بین پرتوهای اصلی

α_2 = جهت مشاهده از بیشینه دوم

x_2 = فاصله بین بیشینه دوم از مرکز

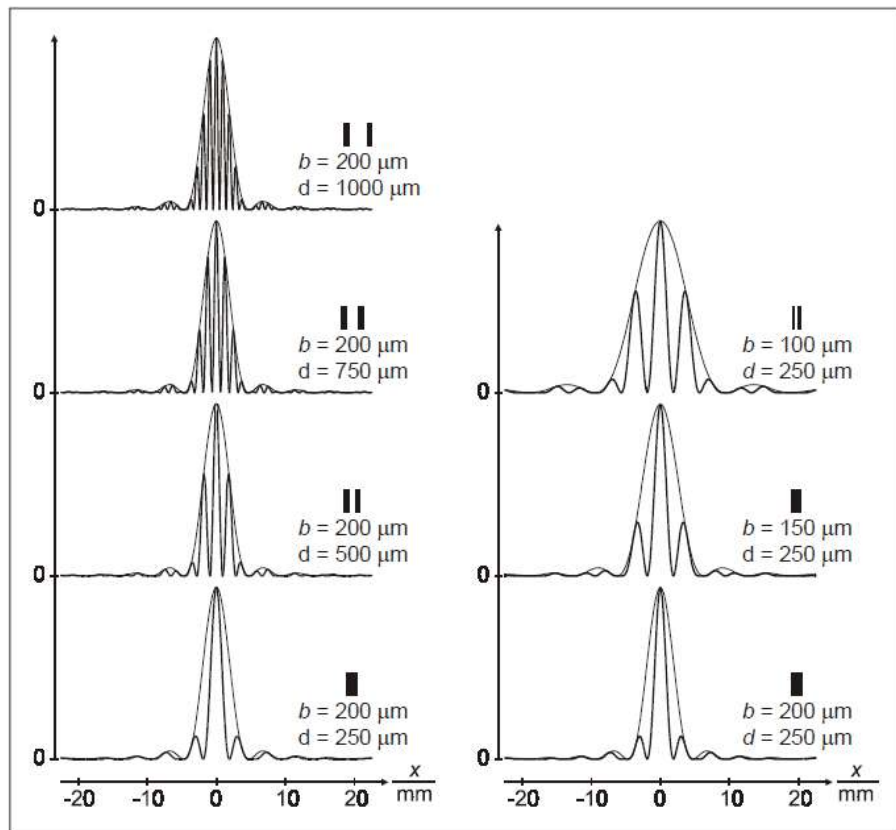
S = پرده

شکل (۱): نمایش طرحواره پراش از دو شکاف

باید به صراحت ذکر شود که ملاحظات حاضر بر پایه دیدگاه فرانهورفر است، که بدان معنا است که جبهه‌های موج نور موازی قبل و بعد از شیء پراشی بررسی می‌شود. از سوی دیگر این موضوع متناظر با آن است که منبع نور در فاصله بی‌نهایت نسبت به شیء پراشی است و از سوی دیگر متناظر آن است که پرده نیز در فاصله بی‌نهایت از شیء پراشی قرار دارد. از دیدگاه فرنل، منبع نور و پرده در فاصله متناهی از شیء پراشی قرار دارند. هرچند، الگوهای پراش راحت‌تر از پراش فرانهورفر محاسبه می‌شود. شدت نور پراشی از یک شکاف تک وابسته به زاویه مشاهده، α ، است. بنابراین، الگوی پراش پشت دو شکاف به وسیله شدت پراش ناشی از یک شکاف مدوله می‌شود. برای محاسبه دقیق الگوی پراشی، حالات نوسانی همه دسته پرتوهای جزئی که از شکاف‌ها می‌آیند با به حساب آوردن اختلاف فازهای آن‌ها به یکدیگر افزوده می‌شوند. در نتیجه، دامنه شدت میدان نور پراشیده، A ، در موقعیت دلخواه x روی پرده به دست می‌آید. از توزیع دامنه $A(x)$ محاسبه شده به این روش، توزیع شدت $I = A^2(x)$ فوراً محاسبه می‌شود.

در سمت چپ شکل (۲)، الگوی پراش دو شکاف برای دو شکاف‌هایی با فواصل گوناگون، d ، با پهناهای یکسان، b ، نشان داده شده است. به وضوح مشاهده می‌شود که با افزایش فاصله بین دو شکاف فاصله بین بیشینه‌ها کاهش می‌یابد. شدت آن‌ها ثابت نیست زیرا تحت تأثیر پراش از تک شکاف‌ها قرار می‌گیرد. بنابراین، این موضوع حساس است که فاصله a را که روی پرده با استفاده از رابطه (۴) توصیف می‌شود، از فاصله بین کمینه‌ها، به جای فاصله بین بیشینه‌ها، به دست آوریم.

در سمت راست همان شکل، الگوی پراش دو شکاف برای پهناهای گوناگون شکاف، b ، با فاصله یکسان بین دو شکاف، d ، نشان داده شده است. فاصله بین دو بیشینه برای هر سه حالت یکسان است؛ هرچند، شدت‌ها مختلف هستند زیرا تأثیر پراش از شکاف‌های تک تغییر می‌کند.



شکل (۲): وابستگی الگوی پراش دو شکاف با شکاف‌هایی با فاصله d (سمت چپ) و پهنای شکاف b (سمت راست)

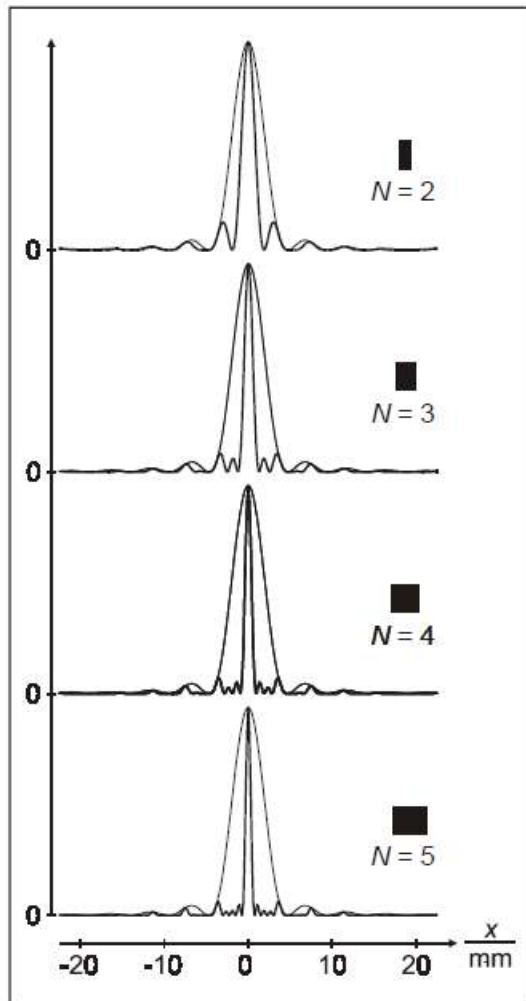
پراش از چند شکاف

ملاحظات مرتبط با تعیین بیشینه‌ها در پراش از دو شکاف فوراً برای پراش از چند شکاف با N شکاف یکسان و فواصل برابر نیز قابل به‌کارگیری است. اگر شرط رابطه (۱) برآورده شود، دسته پرتوهای نور از همه N شکاف به‌صورت سازنده تداخل می‌کنند. معادلات (۳) و (۴) نیز برای چند شکاف برقرار هستند.

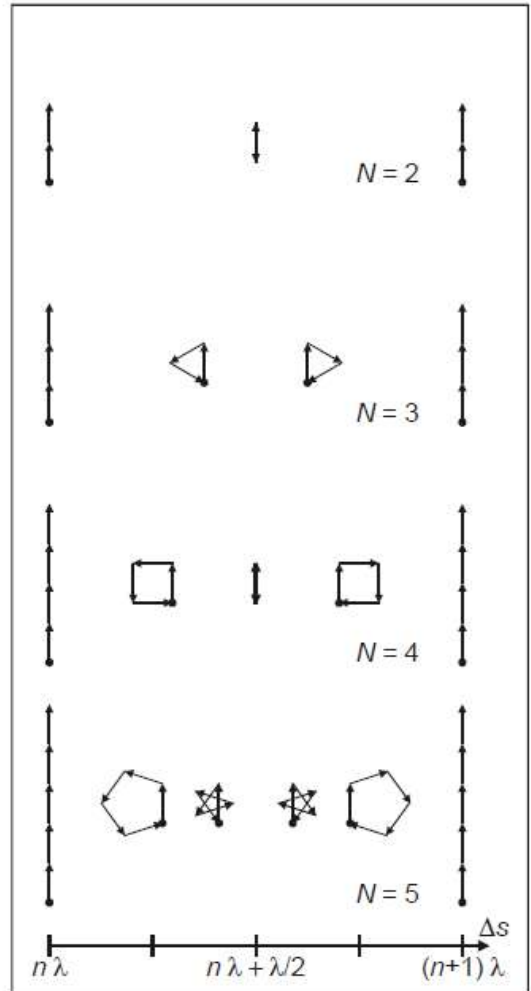
از نظر ریاضی، تعیین کمینه‌های شدت در دسترس‌تر است: اگر اختلاف راه بین پرتوهای اصلی دو شکاف مجاور شرط زیر را برآورده کند، کمینه‌ای بین بیشینه‌های n و $n+1$ وجود خواهد داشت:

$$\Delta S = n \cdot \lambda + m \cdot \frac{\lambda}{N} \quad m = 1, \dots, N-1 \quad (5)$$

برای این اختلاف راه، دسته پرتوهای جزئی از N شکاف به‌گونه‌ای تداخل می‌کنند که شدت کل برابر صفر شود. این موضوع به کمک نمایش موسوم به نمایش عقربه‌ای، که در آن اختلاف فاز بین دسته پرتوهای جزئی آمده از شکاف‌های مختلف به‌شمار آمده است، در شکل (۳ الف) نشان داده شده است.



ب



الف

شکل (۳): الف) نمایش عقبه‌ای افزودن دامنه نوسان N شکاف با در نظر گرفتن اختلاف فاز. اگر اختلاف راه ΔS بین دو همسایه ضریب صحیحی از λ باشد، دامنه پراش بیشینه حاصل می‌شود. اگر اختلاف راه ΔS از رابطه (۴) به دست آید، دامنه پراش صفر می‌شود. ب) وابستگی الگوی پراش چند شکاف به تعداد شکاف‌ها، N ، برای فواصل مساوی d و پهناهای مساوی، b . الگوی پراش یک شکاف تک با پهنای خط کوچک‌تر در دیاگرام نشان داده شده‌است.

تعداد $N-1$ کمینه بین یک جفت بیشینه وجود دارد. در این بین $N-2$ بیشینه موسوم به بیشینه ثانویه وجود دارد که شدت آن‌ها ضعیف‌تر از بیشینه‌های اصلی است. هرچند، آخری فقط در صورتی صحیح است که تأثیر پراش از شکاف تک قابل اغماض باشد. در شکل (۳) ب)، وابستگی الگوی پراش به تعداد شکاف N نشان داده

شده است. از آنجاکه شکافها دارای فواصل برابر هستند، فاصله بین بیشینه‌های اصلی برای همه تعداد شکافها برابر است. با افزایش تعداد شکاف N ، بیشینه‌های شدت ثانویه در مقایسه با شدت‌های اصلی ضعیف‌تر هستند.

روش انجام آزمایش:

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

چیدمان آزمایشگاهی کامل 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. لیزر هلیم-نئون را به ریل اپتیکی متصل کنید.

۲- پرده را در فاصله حدود 1.90 m از لیزر تنظیم کنید.

۳- لیزر را به صورت مستقیم به سمت پرده قرار داده و لیزر را روشن نمایید.

۴- نگهدارنده شیء پراشی H را با ۳ دو شکاف روی ریل اپتیکی در فاصله تقریباً 50 سانتی‌متری از لیزر قرار دهید.

۵- ارتفاع لیزر را به گونه‌ای تنظیم کنید که باریکه لیزری به مرکز دیافراگم برخورد کند.

۶- موقعیت عدسی همگراکننده کروی L_1 با فاصله کانونی $f=5\text{ mm}$ را در فاصله تقریباً 1 cm از لیزر تنظیم کنید (لیزر همچنان باید دیافراگم را روشن کند).

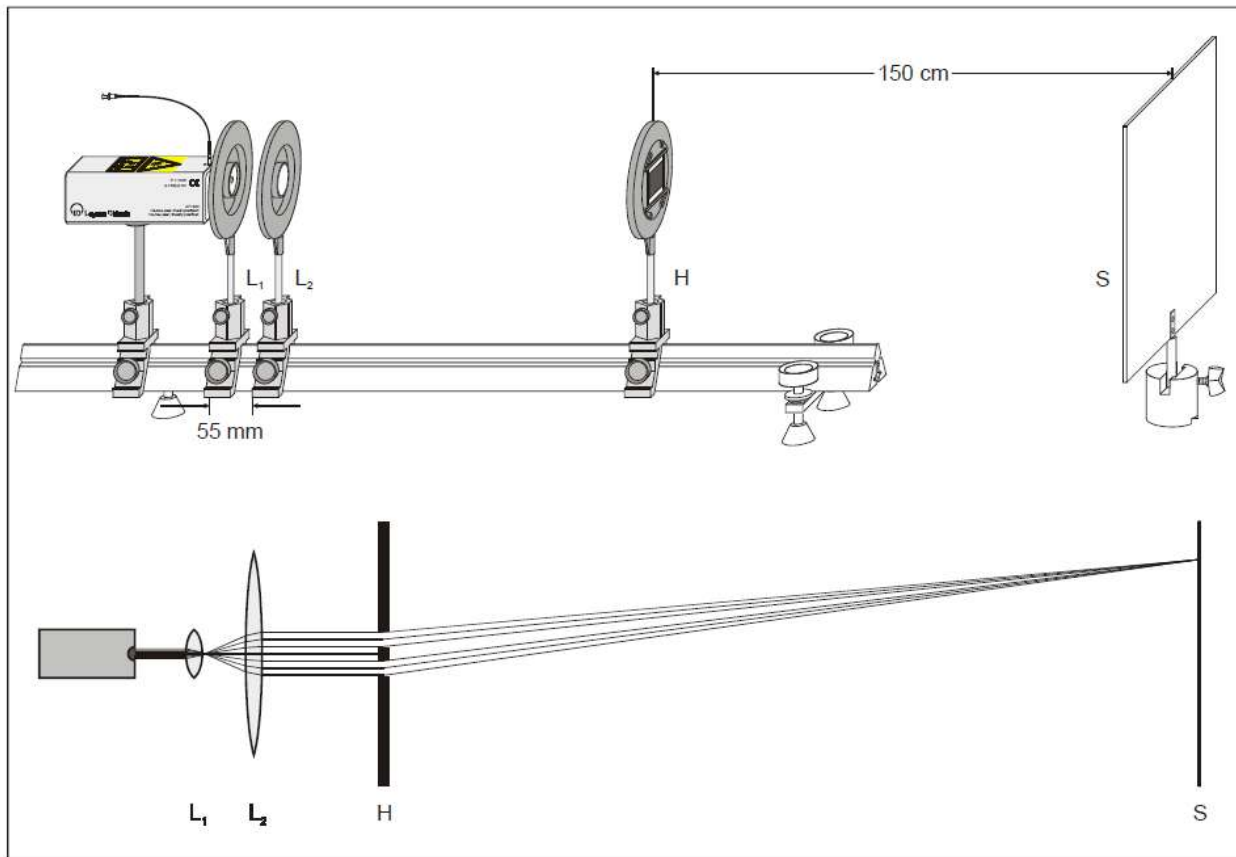
۷- نگهدارنده شیء پراشی H را بردارید.

۸- عدسی L_2 با فاصله کانونی $f=50\text{ mm}$ را نسبت به عدسی L_1 در فاصله تقریباً 55 mm قرار دهید و آنقدر جابه‌جا کنید تا باریکه خروجی موازی شود (باید باریکه لیزری پروفایل دایره‌ای ثابتی در امتداد محور نوری داشته باشد).

۹- 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.

۱۰- نگهدارنده شیء پراشی را در مسیر پرتو بازگردانید و جابه‌جا کنید تا فاصله شیء پراشی و پرده $1/50\text{ m}$ شود.

۱۱- اگر ضروری است، عدسی L_2 را کمی جابه‌جا کنید تا الگوی پراش با کیفیت مناسب تصویردهی شود.



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

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

شکل (۴): چیدمان آزمایش (بالا) و طرحواره نمایش مسیر پرتو (پایین) برای مشاهده پراش از دو شکاف و چند شکاف

الف- وابستگی پراش از دو شکاف به فاصله بین دو شکاف، d .

۱- دیافراگم دو شکاف را در مسیر نور قرار دهید و الگوی پراش دو شکاف با فاصله $1.7, 1.6, 1.2, 0.9, 0.6\text{ mm}$ و ۲ یکی پس از دیگری مشاهده کرده و فاصله بین دو کمینه را در جدول (۱) ثبت کنید.

جدول (۱): فواصل بین دو کمینه شدت، a ، برای فواصل بین دو شکاف مختلف، d .

$d(mm)$	$a(mm)$	$d^{-1}(mm^{-1})$	$\lambda (nm)$ حاصل از محاسبات	$\lambda_{mean} (nm)$ حاصل از محاسبات
۰٫۶				
۰٫۹				
۱٫۲				
۱٫۶				
۱٫۷				
۲				

۲- نمودار a برحسب d^{-1} را رسم کنید. شیب خط را محاسبه کنید. از روی شیب خط طول موج لیزر را محاسبه کنید.

ب- وابستگی پراش از دو شکاف به فاصله پهناهای دو شکاف، b .

فاصله بین هر دو شکاف با یکدیگر برابر هستند.

۱- دیفرآگم دو شکاف را در مسیر نور قرار دهید و الگوی پراش دو پهناهای 0.12 mm و 0.24 mm را یکی پس از دیگری مشاهده کرده و فاصله بین دو کمینه را در جدول (۲) ثبت کنید.

جدول (۲): فواصل بین دو کمینه شدت، a ، برای پهناهای دو شکاف مختلف، b .

$b(mm)$	$d(mm)$	$a(mm)$	$d(mm)$ حاصل از محاسبات	$a_{mean}(mm)$	$d(mm)$ حاصل از a_{mean}	خطای نسبی d	خطای دیفرانسیلی d

۰٫۱۲	۰٫۶						
۰٫۲۴	۰٫۶						
۰٫۲۴	۱٫۲						

پ) وابستگی پراش از چند شکاف به تعداد شکاف‌ها.

فاصله بین هر دو شکاف با یکدیگر برابر هستند.

۱- دیافراگم چند شکاف را در مسیر نور قرار دهید و الگوی پراش دو شکاف، سه شکاف، چهار شکاف و پنج شکاف را بررسی کنید. برای ۳ تا ۵ شکاف $N-2$ بیشینه ثانویه بین دو بیشینه اصلی مجاور وجود دارد. بیشینه‌های ثانویه شدت کمتری نسبت به بیشینه‌های اصلی دارند. فاصله بین بیشینه‌های اصلی را برای دیافراگم‌های با تعداد شکاف‌های مختلف اندازه‌گیری کرده و در جدول ۳ ثبت کنید.

جدول (۳): فواصل بین دو بیشینه شدت اصلی، a ، برای دیافراگم‌ها با تعداد شکاف‌های مختلف.

تعداد شکاف‌ها	$a(mm)$	$d(mm)$ حاصل از محاسبات	$a_{mean}(mm)$	$d(mm)$ حاصل از محاسبات	خطای نسبی d	خطای دیفرانسیلی d
۲						
۳						
۴						
۵						
۴۰						