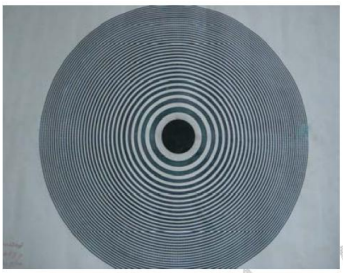
آزمایش (۱۰)

موضوع آزمایش: پراش فرنل و مناطق فرنل



وسایل مورد نیاز:

لامپ سدیم و منبع تغذیه

لامپ سفید و منبع تغذیه

شکاف قابل تنظیم

میکروسکوپ متحرک

ریل اپتیکی و پایه‌های مناسب

یک عدسی به عنوان موازی کننده نور

پالایه‌ی سبز و قرمز

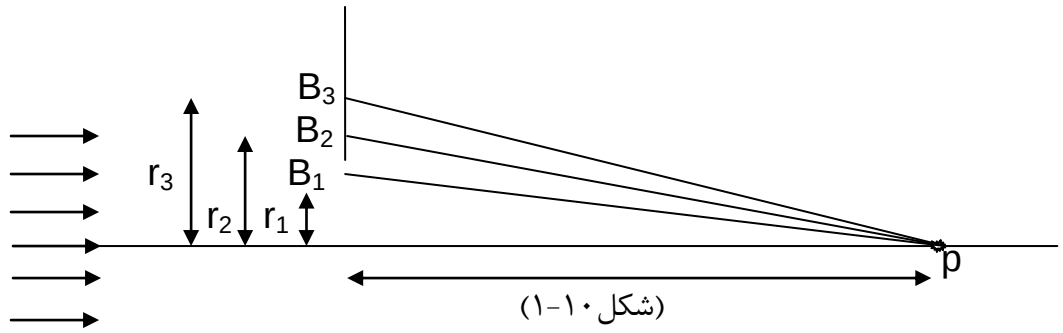
تیغه‌های منطقه‌ای (عدسی) فرنل

پرده مشاهده

موانع پراشنده

پراش فرنل- همانطوریکه در قسمت پراش فرانهوفر ذکر شده هرگاه چشمه نورانی و پرده‌ای که الگوی پراش بر روی آن تشکیل می شود در فاصله محدودی از مانع پراشنده قرار گیرند، در این صورت پدیده‌ی مشاهده شده را پراش فرنل می‌گویند. یکی از استفاده‌های مهم این پدیده مربوط به ساختمان مناطق فرنل است که در زیر به بحث درباره‌ی آنها می پردازیم.

فرض کنید که یک دسته باریکه‌ی امواج تخت تکفام مطابق شکل ۱۰-۱ به یک روزنه با قطر D برخورد کنند.



(شکل ۱۰-۱)

با استفاده از قانون هویگنس می‌توان دامنه تابش را برای موج ورودی از روزنه در نقطه‌ی P شرح داد. انتظار می‌رود که با ازدیاد قطر روزنه نور به شدت در نقطه P افزایش پیدا کند. طبق انتظار تا شعاع بخصوصی که در شکل ۱۰-۱ با r_1 نشان داده شده است این اتفاق می‌افتد ولی در صورت بزرگتر شدن روزنه، شدت نور در نقطه P کاهش پیدا می‌کند. این کاهش را می‌توان با مراجعه به شکل توضیح داد. در شعاع r_1 فاصله P_1B به اندازه $\lambda/2$ از فاصله محوری $AP=f$ بیشتر است یعنی $B_1P - f=\lambda/2$، بنابراین برای نقاط بالاتر از B_1، نوری که به نقطه‌ی P می‌رسد دارای اختلاف فاز π، با نور محوری است که موجب تداخل از مخرب میشود. در نتیجه شدت نور در P کم می‌گردد. با بزرگتر شدن شعاع روزنه به نقطه‌ی B_2 می‌رسیم که برای آن داریم $B_2P - f=\lambda$ در نتیجه نوری که از نقطه‌ی B_2 به نقطه‌ی P می‌رسد با نور محوری هم فاز خواهد بود و در نتیجه تداخل سازنده‌ایجاد خواهد کرد. بنابراین دایره‌هایی با شعاع‌های $r_1,r_2,\ldots$ صفحه D را به مناطقی که به مناطق فرنل موسوم هستند، تقسیم می‌کنند، بطوریکه هر نقطه، با نقطه‌ی قبل خود اختلاف فازی برابر $\lambda/2$ دارد. می‌توان شعاع این دوایر را از مثلث APB بدست آورد:

$$r_n^2 + f^2 = \left(f + \frac{n}{2}\lambda\right)^2 \qquad (۱-۱۰)$$

$$r_n = \left(nf\lambda + \frac{n^2}{4}\lambda^2\right)^{1/2} \qquad (۲-۱۰)$$

اگر در رابطه ۱۰-۲ $n\lambda$ خیلی کوچکتر از f باشد می‌توانیم از جمله‌ی دوم صرف نظر کنیم و r_n را با تقریب بصورت زیر بنویسیم:

$$r_n^2 = n\lambda f \quad , \quad n\lambda << f \qquad (۳-۱۰)$$

$$\pi(r^2_{n+1} - r^2_n) = \pi\lambda f = \text{ثابت} \qquad (۴-۱۰)$$

رابطه ۱۰-۴ مبین یکسان بودن مساحت مناطق فرنل است و با تقریب خوبی میتوان انتظار داشت شدت نور رسیده از این مناطق به نقطهیP یکسان باشد .

بنابراین می‌توان شدت دامنه موج را در نقطه‌ی P که از هرکدام از مناطق سرچشمه می گیرد را بصورت زیر نوشت.

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \ldots + (-1)^{m-1}A_m \qquad (۵-۱۰)$$

که در آن جمله‌های منفی نشان دهنده این است که موج مربوط به آنها دارای اختلاف فازی برابر π با موج محوری است. این اختلاف فاز باندازه نصف پریود برای دامنه امواج پشت سر هم، باعث شده است تا به این دوایر، مناطق نیمه پریود نیز بگویند.

درعمل از این اصل فیزیک برای ساختن عدسی فرنل استفاده میکنند . بدین معنی با کدر کردن این مناطق بطور یک درمیان، به عبارت بهتر با کدر کردن مناطق فرد و یا زوج میتوان شدت نور که از مناطق کدر نشده را در نقطه ی P متمرکز نمود که مانند یک عدسی عمل می‌کنند. عدسی فرنل را می‌توان به آسانی ساخت، بدین ترتیب که با رسم دایره‌های هم مرکز که شعاع آنها متناسب با جذر اعداد صحیح باشد (رابطه ی ۱۰-۳) بر روی یک صفحه کاغذ سفید و سپس با سیاه کردن یک در میان مناطق بین دایره‌ها، این عدسیها ساخته می‌شوند. در پایان می‌توان آنها را به مقیاس کوچکتری تبدیل کرد. اگر در این تیغه‌های منطقه‌ای (عدسی فرنل) جمله‌های فرد را حذف کنیم به آنها تیغه‌های منطقه‌ای منفی (N) و در صورت حذف جمله‌های زوج به آنها تیغه‌های منطقه‌ای مثبت (P) می‌گویند و بدین ترتیب عکس یکدیگر عمل می‌کنند. تیغه‌های منطقه ای می‌توانند دارای چندین کانون باشند.

آزمایش اول: مشاهده پراش فرنل

روش آزمایش:

الف) پراش از تک سیم نازک

لامپ سدیم را روشن کرده و شکاف قابل تنظیم را مقابل آن قرار دهید. شکاف را تا جایی که امکان دارد ببندید. سپس با قرار دادن تک سیم نازک بر روی پایه مناسب و با تنظیم چشمی میکروسکوپ می‌توانید پراش آن را مشاهده کنید. با دیدن پراش تک سیم نازک شکل الگوی پراش آن را در گزارش کار خود رسم کنید.

ب) پراش از روزنه مستطیل شکل

روزنه مستطیل شکل را در گیره حامل آن قرار داده و سپس الگوی پراش را با تنظیم میکروسکوپ متحرک مشاهده کنید و سپس شکل الگوی پراش را در گزارش کار خود ترسیم کنید.

پ)پراش از روزنه دایره ای کوچک

در این آزمایش پراش حاصل از روزنه دایره‌ای کوچک را مشاهده کرده و شکل الگوی پراش را بکشید. اگر در این آزمایش به جای شکاف قابل تنظیم، که یک منبع موج استوانه‌ای است، از یک سوراخ ریز که منبع موج کروی است استفاده کنید، نتیجه‌ی آزمایش بهتر خواهد بود

ت) پراش از توری

در این آزمایش پراش حاصل از توری را مشاهده کرده و شکل الگوی پراش را بکشید.

آزمایش دوم: اندازه‌گیری فاصله کانونی مناطق فرنل

روش آزمایش:

در این آزمایش از لامپ سفید به همراه پالایه‌های سبز و قرمز استفاده کنید. ابتدا نور لامپ سفید را با عدسی موازی نمایید. برای این کار کافیست که با حرکت دادن عدسی تصویر رشته‌ی لامپ را در فاصله دوری تشکیل دهید. پالایه‌ی سبز را مقابل لامپ سفید قرار داده سپس تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل منفی (N) با فاصله کانونی f=325 mm را مقابل پالایه قرار دهید. با تغییر مکان پرده مشاهده تصویر واضحی از رشته‌ی لامپ به دست آورده و فاصله‌های کانونی این عدسی را اندازه‌گیری کنید. نتایج حاصله را در جدول ۱۰-۱ بنویسید. سپس پالایه‌ی سبز را برداشته و بجای آن پالایه‌ی قرمز را قرار داده و آزمایش قبل را تکرار کنید. فواصل کانونی مربوط به نور قرمز را نیز در جدول ۱۰-۱ بنویسید. حال عدسی منفی را برداشته و بجای آن از عدسی مثبت با فاصله‌ی کانونی f=135 mm استفاده کنید و مانند آزمایش قبلی عمل کنید. نتایج آزمایش خود را در جدول ۱۰-۲ بنویسید.

محاسبه خطا:

با توجه به نتایج به دست آمده، خطای مربوط به فاصله‌ی کانونی دو تیغه را به دست آورید. عوامل ایجاد خطای سیستماتیک را بیان کرده راههای کاهش آنها را بنویسید.

آزمایش سوم: اندازه‌گیری شعاع دوایر مناطق فرنل

روش آزمایش:

در این آزمایش برای مشاهده‌ی مناطق فرنل از میکروسکوپ متحرک استفاده کنید. پالایه‌ی سبز و عدسی فرنل f=325 mm(N) در محل‌های خود قرار داده و با تنظیم میکروسکوپ متحرک تصویر واضحی از تیغه به دست آورید. با اندازه‌گیری قطر دایره و در نتیجه شعاع آنها، با استفاده از رابطه ی ۱۰-۲ می‌توانید فاصله‌ی کانونی تیغه‌ی فرنل را مشخص کنید. برای اندازه‌گیری قطر دوایر، سعی کنید که میکروسکوپ را همواره در یک جهت حرکت دهید و برای این منظور حدود ۱۰ دایره را از دایره‌ی مرکزی رد کنید و سپس تار موئی عمودی را بر لبه دایره ای که می‌خواهید اندازه‌گیری کنید، قرار دهید. عدد مربوط به هر دایره را از روی ورنیه خوانده (d_1) و آن را یادداشت کنید. با رسیدن به مرکز تیغه در جهت دیگر حرکت کنید و عدد مربوط به طرف دیگر (d_2) را بدست آورده و طبق معمول تفاضل این دو عدد (d_1-d_2) قطر دایره را به شما می‌دهد. برای ۱۰ دایره (روشن یا تاریک) این اعداد را خوانده و نتایج را در جدول ۱۰-۳ یادداشت کنید. منحنی تغییرات را بر حسب n رسم کنید و با استفاده از رابطه ۱۰-۳ برای λ=5400 Åاندازه‌ی فاصله کانونی این عدسی را پیدا کنید. این مقدار را با مقدار به دست آمده از آزمایش قبلی مقایسه کنید.

در ادامه‌ی آزمایش از تیغه‌ی فرنل مثبت با فاصله‌ی کانونی $f=135\ mm(P)$ استفاده کنید و مطابق حالت قبل منحنی تغییرات را بر حسب شماره‌ی دایره‌ها، n، رسم کنید. با استفاده از رابطه‌ی ۱۰-۳ و منحنی تغییرات برای طول موج $\lambda=5400\ \text{Å}$ اندازه‌ی فاصله‌ی کانونی عدسی را پیدا کنید. این مقدار را با مقدار به دست آمده از آزمایش قبلی مقایسه کنید.

محاسبه خطا:

با توجه به منحنی رسم شده خطای اندازه‌گیری فاصله‌ی کانونی دو تیغه را به دست آورید. عوامل ایجاد خطای سیستماتیک در این آزمایش چیست؟ راههای کاهش آنها را بنویسید.

بسمه تعالی

آزمایشگاه اپتیک

جدولهای آزمایش ۱۰

جدول ۱۰-۱

دفعات	پالایه	محل عدسی فرنل	محل پرده	f_1	محل پرده	f_2	محل پرده	f_3
۱								
۲								
۳								
میانگین					–		–	
۱								
۲								
۳								
میانگین					–		–	

f=325mm

جدول ۱۰-۲

دفعات	پالایه	محل عدسی فرنل	محل پرده	f_1	محل پرده	f_2	محل پرده	f_3
۱								
۲								
۳								
میانگین					–		–	
۱								
۲								
۳								
میانگین					–		–	

f=135mm

اندازه گیری فاصله کانونی عدسی فرنل با استفاده از اندازه گیری شعاع دوایر مناطق فرنل

-دایره مرکزی روشن است یا تاریک؟

-دایره های روشن شمرده شده اند یا دایره های تاریک ؟

جدول ۱۰-۳

n	d_1(mm)	d_2(mm)	$d=d_1-d_2$	$r_n=d/2$	r^2_n

جدول ۱۰-۴

f واقعی	f منحنی

جدول ۱۰-۵

-دایره مرکزی روشن است یا تاریک؟

-دایره های روشن شمرده شده اند یا دایره های تاریک ؟

n	d_1(mm)	d_2(mm)	$d=d_1-d_2$	$r_n=d/2$	r^2_n

جدول ۱۰-۶

f واقعی	f منحنی