آزمایش شماره [10]
تداخل امواج نوری

هدف آزمایش : مشاهده پدیده تداخل با استفاده از لیزر $He\text{-}Ne$ ، اندازه‌گیری فاصله دو شکاف یانگ، اندازه‌گیری زاویه رأس دو منشور فرنل و اندازه‌گیری زاویه بین دو آینه فرنل

وسایل مورد نیاز : چشمه نور لیزر $He\text{-}Ne$ ، صفحه دوشکاف یانگ، عدسی با فواصل کانونی $(5, 50, 100)mm$، دو آینه فرنل، دو منشور فرنل، ریل اپتیکی، سلول فتوالکتریک، مقاومت $10K\Omega$ و میکروآمپرمتر یا میکرو ولت‌متر.

مبانی نظری آزمایش :

اساس نظریه تداخل یا برهم نهی نور مبتنی بر اصل بر هم نهی خطی میدان‌های الکترومغناطیسی است. طبق این اصل میدان الکتریکی $\vec{E}$ که در یک نقطه از فضای تهی به وسیله چندین چشمه مشترکاً تولید می‌شود برابر با حاصل جمع برداری زیر است:

$$\vec{E} = \overrightarrow{E_1} + \overrightarrow{E_2} + \overrightarrow{E_3} + \cdots \qquad (1)$$

که در آن $\overrightarrow{E_1}$ و $\overrightarrow{E_2}$ و $\overrightarrow{E_3}$ و ... هر یک میدانی است که به وسیله چشمه‌های گوناگون در نقطه مورد نظر تولید می‌شود. این اصل برای میدان‌های مغناطیسی نیز صادق است. دو موج هماهنگ که به طور خطی قطبیده بوده و فرکانس‌های هر دو مساوی است در نظر بگیرید. در این صورت میدان‌های الکتریکی چنین خواهند بود:

$$\overrightarrow{E_1} = \overrightarrow{E_1}\, exp\, i(\overrightarrow{k_1}.\vec{r} - \omega t + \varphi_1) \qquad (2)$$

$$\overrightarrow{E_2} = \overrightarrow{E_2}\, exp\, i(\overrightarrow{k_2}.\vec{r} - \omega t + \varphi_2) \qquad (3)$$

که در این‌جا مقادیر φ_1 و φ_2 برای هر اختلاف فازی که ممکن است میان چشمه‌های دو موج وجود داشته باشد به کار برده شده است. اگر اختلاف فاز $(\varphi_1 - \varphi_2)$ ثابت باشد گفته می‌شود امواج تولیدی، همدوس هستند. از طرفی می‌دانیم که تابندگی در یک نقطه با مجذور دامنه میدان در آن نقطه متناسب است یعنی:

$$I = \left|\vec{E}\right|^2 = \vec{E}.\vec{E}^* = \left(\overrightarrow{E_1} + \overrightarrow{E_2}\right).\left(\overrightarrow{E_1} + \overrightarrow{E_2}\right)^* \qquad (4)$$

$$I = I_1 + I_2 + 2\overrightarrow{E_1}.\overrightarrow{E_2}^* cos\,\theta \qquad (5)$$

که در آن،

$$\theta = \overrightarrow{k_1}.\vec{r} - \overrightarrow{k_2}.\vec{r} + \varphi_1 - \varphi_2 \qquad (6)$$

که جمله $2\overrightarrow{E_1}.\overrightarrow{E_2}^* cos\,\theta$ را جمله تداخلی می‌نامند. با فرض این‌که دو میدان $\overrightarrow{E_1}$ و $\overrightarrow{E_2}$ دارای قطبش یکسان و اندازه برابر باشند یعنی:

$$I_0 = \left|\vec{E}_1\right|^2 = \left|\vec{E}_2\right|^2$$

آن‌گاه خواهیم داشت:

$$I = I_0 + I_0 + 2I_0 cos\,\theta = 2I_0(1 + cos\,\theta) \qquad (7)$$

به طور کلی تداخل به دو دسته زیر تقسیم بندی می‌شود :

الف) تداخل به وسیله تقسیم جبهه موج (مانند دو شکاف یانگ، دو منشور فرنل و دو آینه فرنل)

ب) تداخل به وسیله تقسیم دامنه موج (مانند تداخل سنج مایکلسون، تریمن -گرین، فابری - پرو، حلقه‌های نیوتن و گوه هوا)

که در این بخش آزمایش‌های مربوط به تداخل نوع الف را بررسی می‌کنیم.

آزمایش اول :تداخل با دو شگاف یانگ

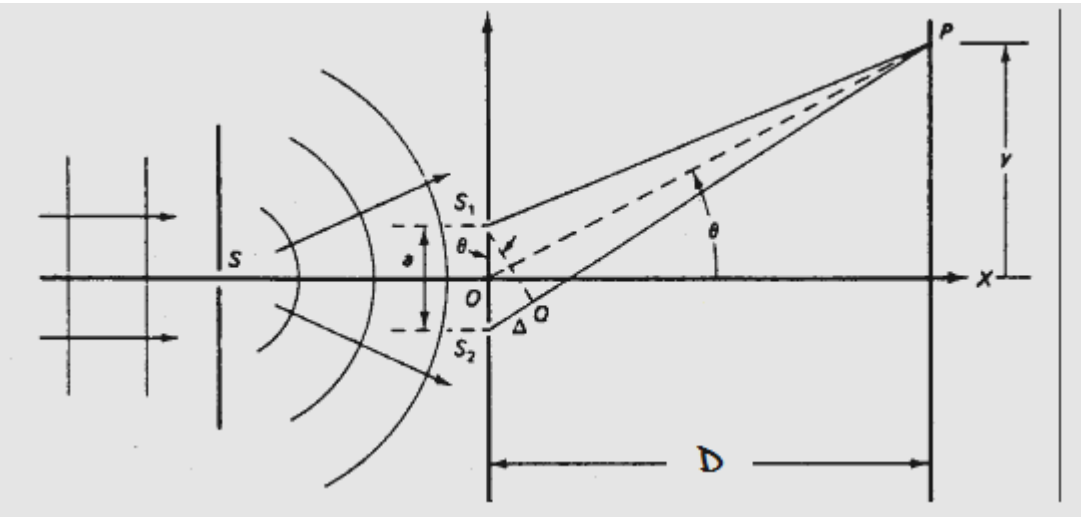
۱- مشاهده فرانژهای تداخلی و اندازه‌گیری طول موج و فاصله دو شکاف

صفحه شکاف‌ها را که دارای سه جفت شکاف است بر روی پایه و قاب مخصوص سوار کنید و در مسیر نور لیزر طوری قرار دهید که فقط نور به دو شکاف بتابد. در فاصله دو متری چشمه نور روی صفحه مشاهده نقش پراش قابل رؤیت است. با استفاده از رابطه‌ی

$$\lambda = a\sin\theta$$

می‌توان a فاصله دو شکاف یا λ طول موج نور را بدست آورد.

در این رابطه $\sin\theta \approx \frac{\Delta y}{D}$ می‌باشد.Δy فاصله دو فرانژ متوالی و D فاصله شکاف‌ها از پرده است. هر چه فاصله صفحه مشاهده از چشمه بیش‌تر باشد خطای آزمایش کمتر است.



شکل ۵- ۱

در این آزمایش برای یک شکاف a را اندازه بگیرید (بوسیله کولیس) و λ را بوسیله آزمایش بدست آورید. در مرحله بعد برای شکاف دیگر با دانستن λ بوسیله آزمایش a را حساب کنید (برای داشتن فرانژهای واضح یک عدسی $50\ mm$ و یک عدسی $100\ mm$ قبل و بعد از شکاف قرار دهید).

۲- رسم منحنی شدت نور بر حسب فاصله

حال در محل تشکیل فرانژها (پرده) فتوسلی را روی پایه متحرکی سوار کنید (که بتواند در امتداد فرانژها حرکت کند) و یک مقاومت $10k\Omega$ را با آن موازی کنید و نهایتاً به یک میکروولت‌متر وصل کنید و یا مستقیماً به یک میکروآمپرمتر وصل کنید. بعد از کالیبره کردن میکروولت‌متر یا آمپرمتر، فوتوسل را روی پایه آنقدر حرکت دهید تا میلی آمپرمتر ماکزیمم یا مینیمم ممکنه را نشان دهد. عدد روی خط‌کش پایه را بخوانید و آن‌را به عنوان مبدأ محاسبات خود قرار دهید. سپس فتوسل را در سمت راست و هم‌چنین چپ مبدأ حرکت داده و محل ماکزیمم‌ها و مینیمم‌های بعدی را بدست آورید.

ضمن ثبت نتایج در جدول زیر نمودار تغییرات v یا I را برحسب x را روی کاغذ میلی‌متری رسم کرده و نتیجه را توضیح دهید.

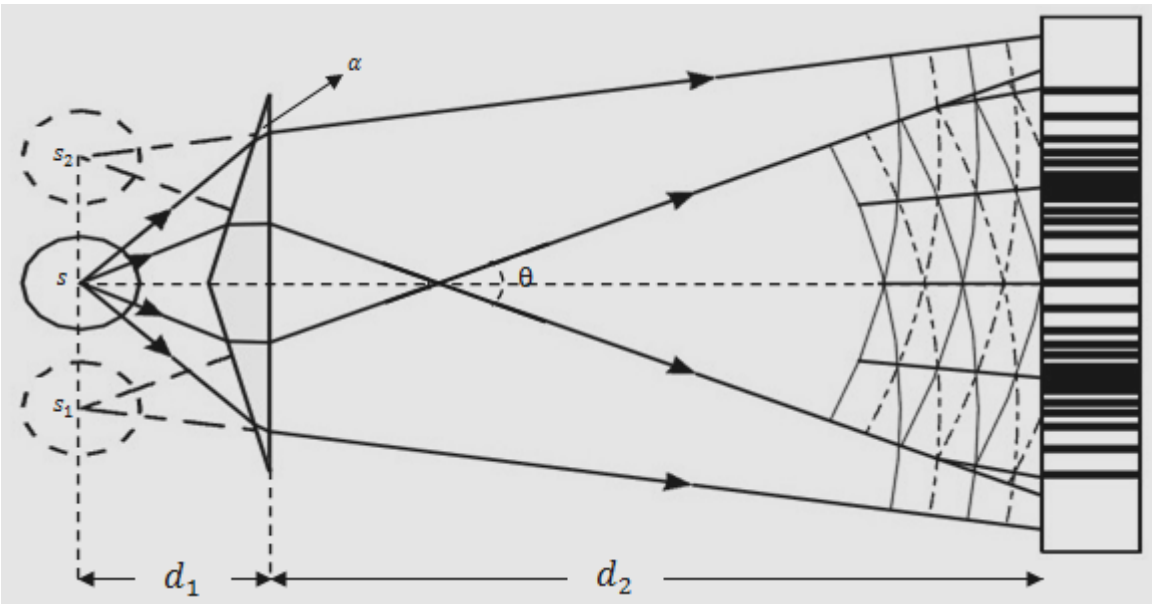
I شدت جریان (v)					
x فاصله					

آزمایش دوم : دو منشور فرنل

دو منشور فرنل که زاویه محل اتصال آن‌ها حدود 180°می‌باشد. از شکاف s دو تصویر s_1 و s_2 را بوجود می‌آورند و امواج صادر شده از دو تصویر s_1 و s_2 با هم تداخل نموده، فرانژهایی مشابه فرانژهای آزمایش یانگ بوجود می آورند و مشابه همان آزمایش می‌توان با اندازه‌گیری فاصله فرانژها طول موج به کار رفته را از رابطه زیر بدست آورد:

$$\lambda = \frac{a}{(d_1+d_2)}\Delta y$$

d_1 و d_2 به ترتیب فاصله منشور تا عدسی و فاصله پرده مات تا منشور است.



شکل ۵- ۲

Δy فاصله دو فرانژ متوالی روشن یا تاریک است، a فاصله دو چشمه مجازی s_1 و s_2 است، a را با دانستن n ضریب شکست منشور و α زاویه رأس منشورها (حدود ۱ درجه است) از رابطه زیر می‌توان حساب کرد:

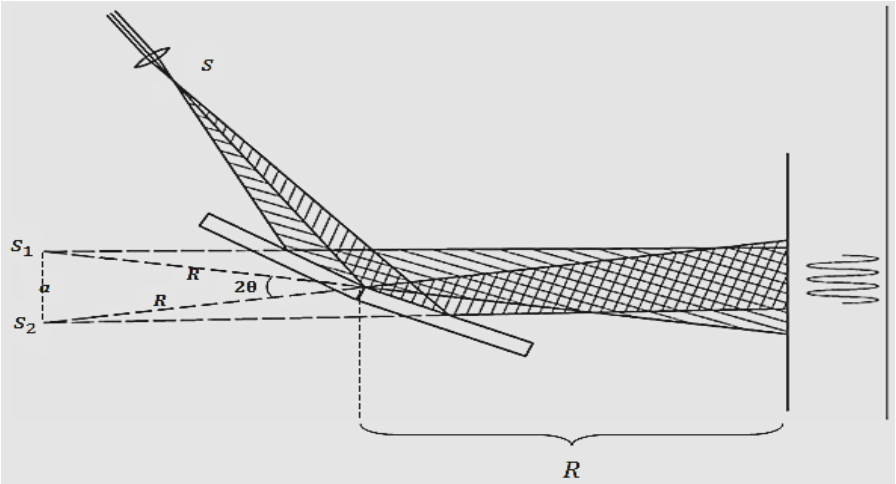
$$a = d_1\theta = 2d_1\alpha(n-1)$$

برای انجام آزمایش ابتدا دو منشور را روی پایه مخصوص قرار دهید و در فاصله حدود ۱۵ سانتی‌متری عدسی با فاصله کانونی $+5mm$ قرار دهید، آن‌گاه لیزر را در فاصله ۱ یا ۲ سانتی‌متری از عدسی جای داده و روشن کنید. با قرار دادن پرده در حدود ۵ متری منشورها و جابجا کردن منشورها و عدسی فرانژهای تداخلی را تشکیل دهید.

با اندازه‌گیری‌های لازم و روابط داده شده طول موج لیزر را محاسبه نمایید.

آزمایش سوم : دو آینه فرنل

فرنل توانست از یک منبع نور در دو آینه که با هم زاویه حدود ۱۸۰° می‌سازند دو تصویر (دو چشمه مجازی) بوجود آورد که امواج صادره از این دو منبع مجازی می‌تواند طرح تداخلی را بر روی پرده بوجود آورد.



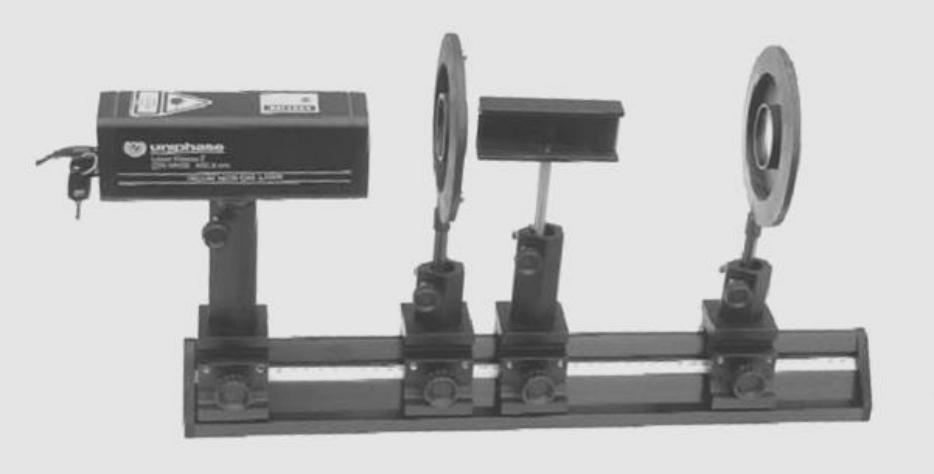
شکل ۵- ۳

در این آزمایش نیز می‌توان مانند آزمایش یانگ از رابطه زیر طول موج نور لیزر را محاسبه کرد:

$$\lambda = \frac{a\Delta y}{d}$$

a فاصله دو چشمه مجازی، Δy فاصله دو فرانژ متوالی و d فاصله لیزر تا پرده می‌باشد.

برای انجام آزمایش وسایل مورد نیاز را طبق شکل زیر سوار کنید:



شکل ۵- ۴

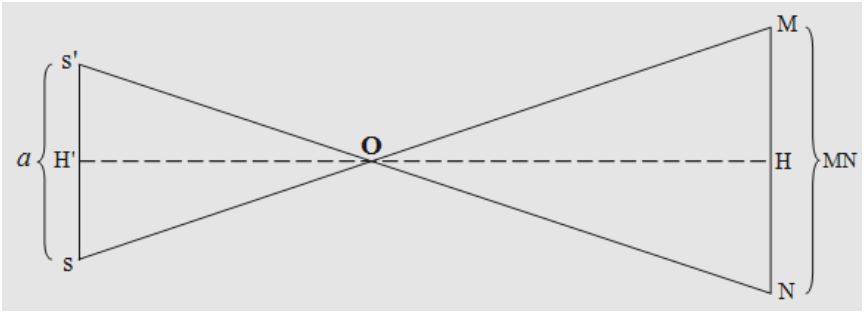
در شکل فوق ترتیب وسایل از سمت راست به چپ عبارتند از :

۱. لیزر $He\text{-}Ne$
۲. عدسی $f = +5mm$
۳. آینه فرنل
۴. عدسی $f = +100mm$
۵. ریل اپتیکی

(البته می‌توانید بدون ریل اپتیکی و خارج شدن وسایل از امتداد هم (به اندازه کم) و بدون استفاده از عدسی $f = +100mm$ نیز این کار را انجام دهید).

سیستم فوق را در فاصله‌ی دو متری پرده قرار دهید.

ابتدا بدون عدسی با فاصله کانونی $+5mm$ نور را به وسط دو آینه فرنل بتابانید (آینه فرنل در فاصله حدود ۱۵ سانتی‌متر از لیزر)، دو نقطه نورانی بر روی پرده خواهد داشت. بوسیله پیچ‌های آینه فرنل دو چشمه را به اندازه مشخصی (a) تنظیم کنید و با توجه به شکل زیر محاسبه کنید.



شکل ۳- ۵

$$a = \frac{OH' \times MN}{OH}$$

MN فاصله دو نقطه نورانی بر روی پرده، OH فاصله مرکز آینه‌ها تا پرده و OH' فاصله مرکز آینه‌ها تا لیزر است.

حال بدون تغییر پیچ آینه‌ها عدسی با فاصله کانونی $+5mm$ را بین آینه‌ها و لیزر قرار داده و با جابجایی آن نور را به مرکز آینه‌ها انداخته و فرانژها را بر روی پرده تشکیل دهید. با جابجایی و چرخاندن عدسی $+100mm$ می‌توانید فرانژها را واضح‌تر کنید. با اندازه‌گیری فاصله مشخصی بر روی پرده (بدون حضور عدسی $+100mm$) و شمردن فرانژهای تاریک یا روشن (با استفاده از عدسی $+100mm$) در آن فاصله Δy را محاسبه و با توجه به روابط داده شده λ را محاسبه نمایید. این کار را برای مقادیر متفاوت a تکرار کنید.