گروه فیزیک دانشگاه قم

دستور کار در آزمایشگاه اپتیک

سال تحصیلی 97–1396

این دستور کار با توجه به امکانات آزمایشگاهی موجود جمع آوری و نوشته شده است و مطمئنا عاری از اشتباه نخواهد بود. لذا از کلیه اساتید و دانشجویان محترم بعلت وجود بعضی از نقایص عذرخواهی نموده و منتظر نظرات سازنده شما هستیم.

تهیه و تنظیم : دکتر تارا مرادی و دکتر معصومه مشکل گشا

مهر ماه سال 1397 خورشیدی

دستور کار آزمایشگاه اپتیک..... 1

فهرست مطالب:

مقدمه.....2

مطالعه توری مسطح.....12

اندازه‌گیری ضریب شکست تیغه شیشه‌ای و مایعات.....20

اندازه‌گیری ضریب شکست منشور و محاسبه ضرائب کوشی.....25

اندازه‌گیری غلظت محلول‌های فعال نوری توسط پلاریمتر.....33

نور سنجی و دوشکستی.....40

پراش فرانهوفر.....47

آزمایش گوه هوا 57

حلقه‌های نیوتن.....63

تداخل سنج مایکلسون 69

اندازه‌گیری زاویه بروستر و تحقیق درستی روابط فرنل 77

آینه لوید 81

دو آینه فرنل 84

دو منشور فرنل 88

روش به کارگیری تداخل سنج فابری پرو 91

مقدمه

تاریخچه نور

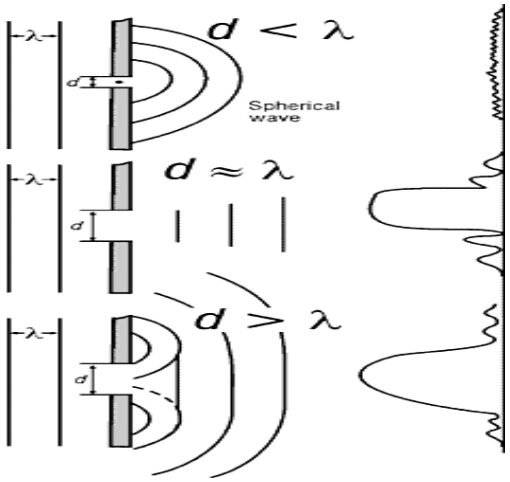
طی قرون شانزدهم و هفدهم میلادی و در دوره‌های متفاوت، نور، در یکی از حالاتش تصور می شد یعنی یا ذره‌ای و یا موجی و حالت ذره ای یا موجی آن به صورت الگوهای نا سازگاری از تو صیف نور به شمار می‌رفت. در قرن بیستم مشخص شد که نور به نحوی هم موج است و هم ذره و در عین حال هیچ یک از این دو نی ست (نظریه دوگانگی موج-ذره). این نظریه سال‌ها دان شمندان را جهت رهیافتی برای توصیف این الگوهای به ظاهر متناقض مشغول ساخت تا این‌که این معما توسط الکترودینامیک کوانتومی حل شد.

در قرن هفدهم، نیوتون که مهم‌ترین حامی نظریه موجی نور بشمار می رفت نور را بصورت ذرات بسیار ریزی در نظر گرفت که از چشمه نور گسیل می‌شوند؛ در حالی‌که هویگنس مدافع این نظر بود که نور یک حرکت موجی است که از چشمه نور در تمام راستاها پخش می‌شود. اصل هویگنس تحت تاثیر این واقعیت بود که وقتی دو باریکه نور با هم تلاقی پیدا می کنند، درست مانند امواج آب بدون این‌که تاثیری بر یکدیگر بگذارند، از هم جدا می‌شوند. او با نظریه موجی نور توانست قوانین بازتاب و شکست را توضیح دهد. پس از آن یانگ توانست با آزمایش معروف دو شکافی یانگ خاصیت موجی نور را تایید کند. در این آزمایش سایه‌های نور عبوری از دو روزنه کوچک، طرح تداخلی پیچیده‌ای مانند آنچه با امواج آب ایجاد می‌شود، تشکیل می‌داد. در 1821 فرنل آزمایشاتی ترتیب داد که نشان می‌داد نور موج عرضی است. سپس ماکسول سرشت الکترومغناطیسی نور را نشان داد.

موفقیت نظریه موجی تا قرن بیستم ادامه دا شت تا این‌که در آغاز قرن بیستم ماکس-پلانک تابش جسم سیاه را با این فرض که نور به جای گسیل پیوسته از بسته(کوانتا)های کوچک انرژی تشکیل شده است را مطرح کرد و بدین ترتیب فیزیک کوانتومی متولد شد. پس از آن انیشتین نور را بصورت

جویباری از فوتون‌ها در نظر گرفت. در سال 1924 دوبروی توانست نظریه دوگانگی موج- ذره را تکامل بخشـــد. رفتار فوتون‌ها و الکترون‌ها هم بصـــورت موج، و هم ذره، ابتدا یک تناقض بنظر می‌رســـید. با الکترودینامیک کوانتومی که یکی از موفق‌ترین نظریه‌ها محسوب می‌شود مشکل دوگانگی حل می‌گردد و موج اساساً صورت دیگری از ماده در نظر گرفته می‌شود و اصول کلی یکسانی بر هردو حاکم می‌شود.

علم اپتیک به بررسی پدیده‌های حاصل از انتشار نور و کاربرد آنها می‌پردازد. هنگامی‌که طول موج تابش نور خیلی کوچک‌تر از موانع و سوراخهای محدود کننده مسیر نور باشد، میتوان از اصول اپتیک هندسی از جمله انتشار نور به خط مستقیم استفاده کرد.(شکل1) درشرایطی که شکاف قابل مقایسه با طول موج باشد، باید از اصول اپتیک موجی و قوانین حاکم در این محدوده استفاده نمود.



شکل 1

اصول اپتیک هندسی

در تقریب اول، وقتی بتوان پراش را نادیده گرفت، می‌توان انتشار نور در سیستم اپتیکی را بر مبنای پیروی از مسیرهای مستقیم‌الخط یا پرتوهای نور، ردیابی نمود، در این حالت می‌توان از اصول اپتیک هندسی استفاده نمود. اپتیک هندسی را می‌توان بصورت مجموعه‌ای از سه قانون بنیادی زیر بیان کرد:

قانون بازتاب: در یک ناحیه با ضریب شکست ثابت، نور به خط مستقیم انتشار می‌یابد

قانون بازتابش: نور فرودی بر یک صفحه تحت زاویه i نسبت به خط عمود بر آن صفحه، با زاویه r مساوی با زاویه تابش، بازتابش می‌کند.

قانون شکست (قانون اسنل): در سطح جدایی دو محیط با ضرایب شکست n_1 و n_2 نور فرودی تحت زاویه i نسبت به خط عمود بر سطح جدایی دو محیط و در محیط اول، در محیط دوم تحت زاویه r نسبت به خط عمود بر سطح جدایی شکست می‌یابد، بطوری که $n_1 \sin i = n_2 \sin r$:

سه اصل بالا را می توان از اصل **فرما** استخراج کرد. طبق این اصل پرتو نور در عبور از یک نقطه به نقطه دیگر مسیری را دنبال می‌کند که زمان لازم برای طی آن، در مقایسه با مسیرهای مجاور، یا مینیمم باشد و یا ماکزیمم و یا تغییر نکند (یعنی مانا باشد) و یا به عبارت دیگر باریکه نوری یک سطح مشترک را می‌پیماید، راه راست و کوتاهترین راهی است که در کمترین زمان پیموده می‌شود. برخی از این اصول را می توان در آزمایش‌های 2 و 8 تحقیق نمود.

اصول اپتیک موجی

اصل هویگنس

هر نقطه روی جبهه موج اولیه همانند یک چشمه امواج کروی ثانویه عمل می‌کند. بطوریکه جبهه موج اولیه در لحظه بعدی پوش این موجک‌های ثانویه است. افزون بر این، این موجک‌ها با سرعت و فرکانس مساوی با سرعت و فرکانس موج اولیه، در هر نقطه از فضا به پیش می‌روند.

تابش الکترومغناطیسی

بر اساس معادلات ماکسول، نور یک نوع تابش الکترومغناطیسی است که از ترکیب دو میدان الکتریکی و مغناطیسی تشکیل یافته است. تابش الکترومغناطیسی شامل میدان الکتریکی متغیر با زمان و میدان مغناطیسی متغیر با زمان می‌باشد که این دو میدان بر هم عمودند و موج در امتداد عمود بر هر دوی آنها انتشار می‌یابد. هر تک موج الکترومغناطیسی یک میدان الکتریکی و یک میدان مغناطیسی مشخص دارد، ولی از آنجا که نور تکفامِ مطلقی که فقط شامل یک طول موج باشد (ما همواره با گروه موج روبرو هستیم) لذا با میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی مختلف مواجه خواهیم بود.

میدان الکتریکی نور بزرگتر از میدان مغناطیسی آن است و نیز چشم ما به میدان الکتریکی حساس‌تر است، از این رو ما در مبحث نور اغلب با شدت میدان الکتریکی نور سر و کار داریم. بعنوان مثال بررسی آنچه بعنوان طرح تداخل و پاشندگی و فریزهای حاصل از پراش می‌بینیم، بر اساس شدت میدان الکتریکی موج الکترومغناطیسی است. در زیر برخی از مفاهیم الکترومغناطیس مورد بررسی قرار می گیرد:

مفهوم جذب میدان الکتریکی در شبکه پلاروید سیمی

جذب در یک امتداد به معنای امکان ایجاد دو قطبی الکتریکی در آن امتداد است. به عبارت دیگر، وقتی اموج الکترومغناطیسی به شبکه سیمی می‌رسد، از طرف میدان الکتریکی به **اتم**های سیم و در نتیجه به **الکترون**ها **نیرو** وارد می‌شود و دو قطبی‌هایی تشکیل می‌شود که در طول سیم هم‌سو می‌شوند. یعنی الکترونها مقید می‌شوند و نمی‌توانند دراین راستا ارتعاش کنند، پس میدان الکتریکی دراین امتداد، از شبکه سیمی خارج نمی شود و **انرژی** وابسته به آن بصورت انرژی گرمایی تلف می شود. بدین ترتیب، موج خروجی از شبکه سیمی یک موج قطبیده خطی خواهد بود که امتداد بردار میدان الکتریکی آن عمود بر امتداد سیم‌های شبکه است.

چون **طول موج** موج‌های نور خیلی کوتاه است، مولفه میدان الکتریکی در راستای طول سیم بطور کامل حذف نخواهد شد. یعنی باید فاصله بین سیم‌ها از طول موج **نور** فرودی، کوتاه‌تر و یا حداکثر مساوی آن باشد تا جذب میدان الکتریکی بطور کامل صورت گیرد. خواص پلارویدها در آزمایش 4 مورد بررسی قرار می‌گیرد.

رنگ اجسام

رنگ اجسام شفاف: رنگ یک جسم شفاف، رنگ نوری است که از جسم عبور می‌کند، مانند شیشه رنگی قرمز که فقط نور قرمز را از خود عبور می‌دهد و بقیه رنگ‌ها را جذب می‌کند.

رنگ اجسام کدر: رنگ اجسام کدر، رنگی است که از خود باز می‌تابانند، مانند جسم سبز (برگ درخت) که کلیه رنگها را جذب کرده و فقط رنگ سبز را باز تابش می‌کند.

رنگ سیاه: رنگی است که کلیه رنگ‌ها را جذب می‌کند و هیچ نوری را بازتابش نمی‌کند.

رنگ سفید: رنگی است که کلیه رنگها را باز می‌تاباند و هیچ رنگی را جذب نمی‌کند .

تجزیه نور سفید

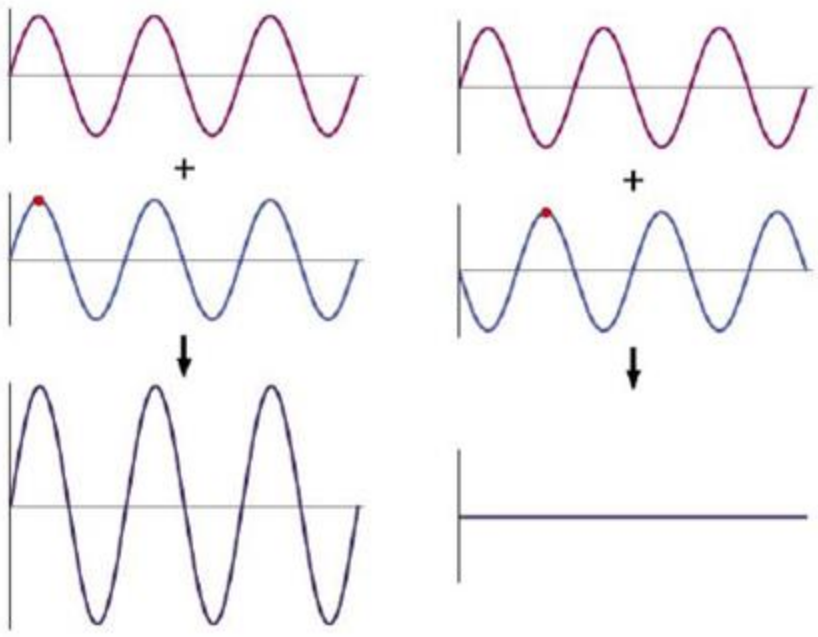
نور سفید ترکیبی از هفت رنگ با طول موجهای مختلف است. اگر نور سفید را از منشور عبور دهیم، به هفت رنگ تفکیک می‌شود. این هفت رنگ در باریکه متصل به هم قرار می‌گیرند و باریکه رنگینی تشکیل می‌دهند که آن را طیف نور سفید یا طیف خورشید می‌نامند یکی از راه‌های تجزیه نور، استفاده از دستگاه‌های پاشنده نور از جمله منشور می‌باشد.

پاشندگی منشور در آزمایش 2 مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

تداخل

تداخل سازنده و ویرانگر

اگر Φ یعنی اختلاف فاز بین دو موج اولیه، صفر باشد، در این صورت دو موج در همه جا همفاز هستند، یعنی بالاترین و پائین‌ترین نقاط دو موج بر هم منطبق هستند. در این حالت گفته می‌شود که امواج بطور سازنده باهم تداخل کرده‌اند. در این حالت دامنه موج برآیند بیشترین مقدار، یعنی دو برابر دامنه هر یک از امواجِ اولیه به تنهایی است. از طرف دیگر، اگر Φ = 0 باشد، در این صورت دامنه موج برآیند صفر خواهد بود. در این حالت بالاترین نقطه یک موج دقیقا بر پائین‌ترین نقطه موج دیگر منطبق می شود و اصطلاحاً گفته می شود که تداخل ویرانگر اتفاق افتاده است.(شکل 2)



شکل 2: تداخل سازنده و ویرانگر

شرط ایجاد تداخل پایدار

اگر بطور اختیاری فاز یکی از چ شمه‌ها را تغییر دهیم، در این صورت در هر نقطه دو ارتعاش تغییر می‌کند و محل ماکزیمم‌ها و مینیمم‌ها ثابت نمی‌ماند. همچنین اگر دوره تناوب دو موج مختلف باشد، در هر نقطه سطح تقویت ارتعاش‌ها، تضعیف و سپس دوباره تقویت می‌شود و همین طور تا آخر ادامه پیدا می‌کند. هر قدر اختلاف دوره تناوب بیشـــتر و یا آهنگ تغییر فاز یکی از ارتعاش‌ها زیادتر باشـــد، تغییر محل ماکزیمم‌ها و مینیمم‌ها ســـریعتر خواهد بود. وقتی از نقش تداخلی صـــحبت می‌کنیم، منظور نقشـــی یک در میان از ماکزیمم‌ها و مینیمم‌های پایدار در طول زمان است. این نقش پایدار فقط وقتی ظاهر می‌شود که امواج برهم‌نهاده شده، دارای دوره تناوب یکسان بوده و در هر نقطه، اختلاف ثابت باشد. این قبیل امواج را امواج همدوس می‌گویند. در نتیجه تداخل پایدار فقط به شرطی مشاهده می‌شود که امواج همدوس باشند.

علت این‌که اثر تداخل، تو سط چ شمه ناهمدوس قابل م شاهده نی ست این ا ست که در یک چ شمه نوری ناهمدوس، نور از تعداد زیادی اتم گســیل می‌شــود که هر اتم به مدت تقریباً یک نانو ثانیه نور گســیل می‌کند. حتی اگر شــرایط گســیل نور اتم‌ها مشــابه باشــد، امواج مربوط به اتم‌های مختلف، اختلاف فاز متفاوتی خواهند دا شت. پس پرتوهای خروجی از دو منبع فوق، فقط حدود نانو ثانیه ارتباط فازی ثابتی خواهند دا شت. یعنی در یک ثانیه نقش تداخلی 10^9 بار تغییر می‌کند. چشـــم فقط تغییراتی را می‌بیند که حدود 0.1 ثانیه ادامه یابد، پس قادر به تشـــخیص تغییرات فوق و نقش تداخلی متغیر نخواهد بود. بنابراین نورهای خروجی از دو منبع مختلف ارتباط ثابتی باهم نداشته و نمی‌توانند نقش تداخلی ثابتی ایجاد کنند.

شرایط عملی تداخل

در عمل اثرهای تداخلی از قطار موج‌هایی حاصل می‌شوند که از یک چشمه (یا از چشمه‌هایی که بین فازهای آنها رابطه ثابتی وجود دارد) حاصل می‌شوند، ولی تا نقطه تداخل، مسیرهای متفاوتی را می‌پیمایند. اختلاف فاز Φ بین امواجی را که به یک نقطه می‌رسند، می‌توان با تعیین اختلاف مسیرهایی که این موج‌ها از چشمه تا نقطه تداخل می‌پیمایند، محاسبه کرد. اگر دو موج ناهمدوس بر هم نهاده شوند، شدت‌ها فقط به هم افزوده می‌شود، بطوری که افزوده شدن موج دوم در هر نقطه منجر به افزایش شدت موج به مقداری برابر با شدت موج دوم می‌شود. بنابراین ماکزیمم یا مینیممی مشاهده نمی‌شود.

اصول بنیادی تداخل

اصل استقلال انتشار امواج: طبق این اصل، اگر دو یا چند موج، بطور همزمان، در یک منطقه از فضا در حال انتشار باشند، در لحظه به هم رسیدن، مستقل از هم عمل می‌کنند. یعنی امواج روی هم اثر نمی‌گذارند و هر موج به گونه‌ای عمل می‌کند که در غیاب موج‌های دیگر عمل می‌نمود.

اصل برهم‌نهی امواج: در نقطه‌ای که موج‌ها به هم می‌رسند، جابجایی کل برابر است با برآیند جابجایی‌هایی که هر یک از موج‌ها به تنهایی در آن نقطه ایجاد می‌کند. این مطلب به اصل برهم‌نهی امواج معروف است.

تداخل سنج‌ها به دو گروه دسته بندی می‌شوند:

1. تداخل‌سنج‌های تقسیم جبهه موج
2. تداخل‌سنج‌های تقسیم دامنه موج

تداخل‌سنج شکافنده جبهه موج

در این نوع از تداخل سنج‌ها جبهه موج اولیه شکافته می‌گردد و این جبهه‌ها همچون چ شمه امواج ثانویه بکار می‌روند. جبهه‌های امواج ثانویه با هم تداخل کرده و نقش فریزهای تداخلی را بر روی پرده بوجود می‌آورند. آن‌چه سبب ایجاد تداخل می شود اختلاف م سیر بین دو پرتو نوری در راه ر سیدن به پرده ا ست و این عاملی اســت که ســبب ایجاد اختلاف فاز بین دو پرتو نوری می‌شــود. از جمله این گونه تداخل‌ها می توان به موارد زیر اشاره نمود:

آزمایش یانگ

یک موج تخت تکفام فرضی که شکاف باریک درازی را روشن می‌کند در نظر می‌گیریم. از آن شکاف موجی ا ستوانه‌ای خارج می شود، و فرض می‌کنیم که این موج به نوبه خود روی دو شکاف باریک موازی و نزدیک هم بتابد. این شکاف‌ها دو چشمه ثانوی همدوس را تشکیل می‌دهند. هر جا که اموج حاصل از دو شکاف بر روی هم می‌افتد تداخل روی می‌دهد. آزمایش پراش فرانهوفر(آزمایش5) از اصول مشابهی تبعیت میکند.

دو آینه فرنل

دو آینه فرنل شامل دو آینه تخت نقره اندود ا ست که با زاویه بـ سیار کوچکی ن سبت به هم قرار گرفته‌اند. یک بخش از جبهه موج اســتوانه‌ای که از شــکاف S خارج می‌شــود، از آینه اول باز تابیده می‌شــود. در حالی‌که بخش دیگر جبهه موج، از آینه دوم باز می‌تابد. در ناحیه‌ای که دو موج بر هم‌نهاده می‌شــوند، یک میدان تداخلی در فضا بوجود می‌آید(آزمایش10).

دو منشور فرنل

دو منشور فرنل شامل دو منشور نازک است که پایه‌های آنها به هم چسبیده‌اند. یک تک موج استوانه‌ای به دو منشور برخورد می‌کند. بخش بالای جبهه موج به طرف پایین کشیده می شود. در حالیکه بخش پایین‌تر به طرف بالا می‌شکند. در ناحیه برهم‌نهی، تداخل رخ می‌دهد (آزمایش10).

آینه لوید

این آینه شامل یک قطعه تخت دی‌الکتریک ویا فلزی است که همچون آینه بکار می‌رود و بخشی از جبهه موج استوانه‌ای ورودی شکاف S از آن بازتابیده می‌شود. بخش دیگر جبهه موج مستقیما از شکاف به پرده می‌تابد. اگر ورقه‌ای نازک از یک ماده شفاف در مسیر پرتوهای که مستقیما بسوی پرده حرکت می‌کنند قرار گیرد این ورقه شفاف اثر فزاینده شمار طول موج‌ها را در هر پرتو مستقیم خواهد داشت(آزمایش 9).

تداخل‌سنج شکافنده دامنه موج

فرض می‌کنیم که یک موج نوری بر آینه نیم نقره اندودی فرود آید. بخشی از این موج از آینه عبور می‌کند و بخش دیگری از آینه منعکس می‌شود. البته دامنه‌های هر دو موج عبوری و بازتابیده، از موج اصلی کمتر خواهند بود. می‌توان گفت که دامنه شکافته شده است. اگر دو موج جدا شده به نحوی بتوانند دوباره در یک آشکار ساز به هم برسند، تا مادامی که همدوسی اصلی بین این دو موج از بین نرفته است، تداخل نتیجه خواهد شد. از جمله این تداخل سنج‌ها، تداخل‌سنج مایکلسون است.

تداخل سنج مایکلسون

یک چشمه گسترده موجی را گسیل می‌کند. یک گسترنده بیم، باریکه شکاف موج را دو قسمت می‌کند. این دو موج بوسیله آینه‌هایی بازتابیده شده و به باریکه شکاف برگردانده می‌شوند. بدین ترتیب دو موج یکی می‌شوند و تداخل ایجاد می‌گردد. (آزمایش 7)

آزمایش 1

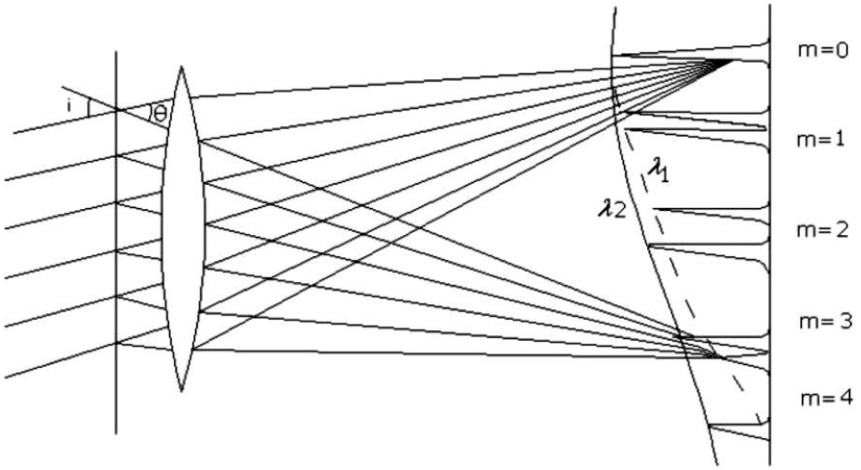
مطالعه توری مسطح

آرایه‌ای تکراری از عناصـر پراشـان، نظیر روزنه‌ها یا موانع که اثر آن‌ها ایجاد تغییرات تناوبی در فاز دامنه یا هر دویِ آنها در یک موج خروجی ا ست، یک توری پراش نامیده می شود. یکی از ساده‌ترین انواع این آرایش‌ها، پیکربندی چند شکافی است. برای تولید توری یک دسته شیار همسان موازی و هم‌فاصله روی سطح شیشه‌ای یا فلز ایجاد می‌شـود. برای این‌کار از یک قطعه الماس نوک تیز اسـتفاده می‌شـود. این توری، بعنوان توری مادر اسـت و می‌توان از روی آن نمونه‌های دیگری را تکثیر کرد. به این ترتیب که محلول کولودیون را روی توری اصلی ریخته و بعد از آن‌که محلول خشک شد، از توری اصلی جدا کرده و این قطعه را روی شیشه یا هر چیز دیگری چسبانده و توری خوبی بدست آورد. به روش هولوگرافی نیز می‌توان توری با توان تفکیک بالا تولید کرد. در ا ستفاده از توری‌ها هرچه فا صله دوخط متوالی توری کمتر با شد (و قابل مقایسه با ابعاد طول موج بکار رفته باشد)، نتایج بهتری حاصل می‌شود.

تئوری توری مسطح

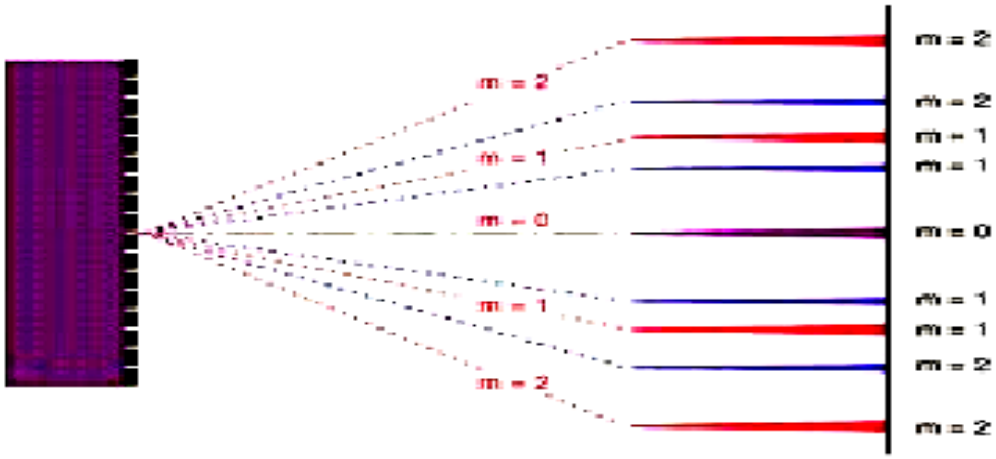
هرگاه N شکاف موازی که فاصله مراکز هر دو شکاف متوالی a است توسط یک دسته پرتو موازی تک‌فام روشن شود، امواج پراشیده در فاصله بی‌نهایت دور از این شکاف‌ها با یکدیگر تداخل کرده و الگوی پراش فرانهوفر مربوط را ایجاد می‌کنند. هرگاه زوایای تابش و پراش را به ترتیب با i و θ نشان دهیم، بیشینه‌های اصلی نقش تداخلی با $a(\sin i \pm \sin\theta) = m\lambda$ داده می‌شوند که در آن $m = 0,\pm1,\pm2,\pm3,...$ است. اگر نور تابیده بر توری عمود باشد ($i = 0$)، رابطه بالا به صورت $a\sin\theta = m\lambda$ تبدیل می‌شود.

تصویری که در m=0 تشکیل می شود را تصویر اصلی گویند. در صورتی که نور تابیده از چند طول موج تشکیل شده باشد، چون زاویه پراش تابع طول موج است طول موج‌های مختلف از یکدیگر جدا می‌شود (شکل 1-1).



شکل 1- **1**

توان جداکنندگی یا قدرت تفکیک توری در طیف‌های متوالی از فرمول $\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN$ به دســت می‌آید که در آن N تعداد کل خطوط توری ا ست. طبق این رابطه در m بالاتر قدرت تفکیک و جدا سازی خطوط طیفی بالاتر است (شکل1-2). چرا؟



شکل 1- **2**: افزایش قدرت تفکیک توری با افزایش **m**

- **هدف آزمایش:**

اندازه‌گیری زاویه پراش و تعیین طول موج مجهول

- **وسایل آزمایش**:

گونیومتر، توری مسطح، چراغ سدیم

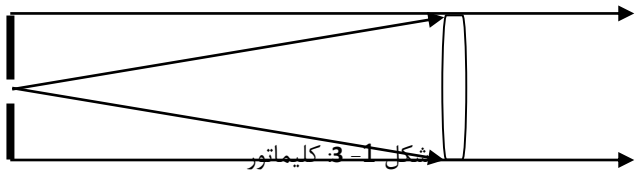
مطالعه لامپ سدیم

لامپ سدیم با فشار کم شامل یک لوله داخلی با دو الکترود اصلی می‌باشد که در آن قوس الکتریکی ایجاد می‌شود با توجه به این‌که درجه حرارت این لوله زیاد و در حدود 270 درجه می‌باشد برای جلوگیری از اتلاف حرارتی از یک حباب خارجی استفاده می‌شود که در آن خلاء ایجاد شده و سطح داخلی آن با یک ماده منعکس کننده اشعه حرارتی مادون قرمز مثل اکسید انیدیوم پوشیده شده است. برای این‌که لوله داخلی که برای طول قوس الکتریکی بلند ساخته می‌شود جای زیادی را نگیرد، آن را به شکل U می‌سازند، با این عمل هم حجم لامپ کم می شود و هم از تلفات انرژی حرارتی جلوگیری می شود. در لامپهای سدیم با فشار کم حدود 99.5 درصد از تشعشعات مرئی در ناحیه زرد رنگ با طول موج 589 تا 589.6 نانو متر می‌باشد. در شروع

کار (زمان استارت) نور قرمز تولید شده ناشی از تخلیه در گاز نئون می‌باشد که کم کم به نور زرد ناشی از بخار سدیم تبدیل می‌شود.

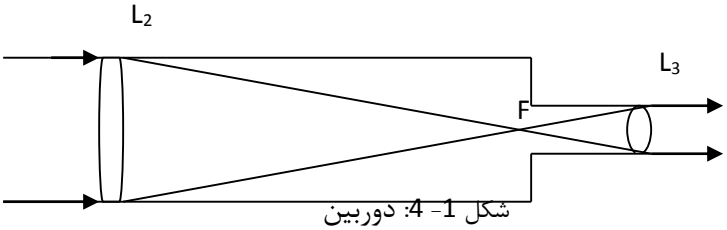
شرح دستگاه گونیومتر:

1- **کلیماتور**: کلیماتور یا موازی ساز لوله‌ای است که در جلوی آن شکاف قابل تنظیمی قرار گرفته به طوری که این شکاف در سطح کانونی عدسی محدبی که در انتهای کلیماتور واقع است قرار دارد(L_1) در نتیجه پرتوهایی که وارد شکاف می‌شوند به طور موازی از آن خارج می‌گردند شکل (1-3).



شکل 1- 3: کلیماتور

2-دوربین: از یک عدسی شئی (L_2) و یک عدسی چشمی (L_3) تشکیل شده است. دسته پرتوهای موازی که از توری خارج شده‌اند به عدسی(L_2) برخورد کرده و در سطح کانونیF آن جمع می‌شوند. سطح کانونی عدسی چشمی (L_3) نیز در همان نقطه F است و در نتیجه تصویری که در F تشکیل شده است در بی‌نهایت مشاهده می‌شود، شکل (1-4).



شکل 1- 4: دوربین

3- **صفحه مدرج:** صفحه‌ای است که توری روی آن قرار می‌گیرد و با کمک ورنیه‌هایی که به کلیماتور و دوربین متصل است، می‌توان زاویه‌هایی با دقت کسری از درجه را به دست آورد.

اصول کلی کار با ورنیه:

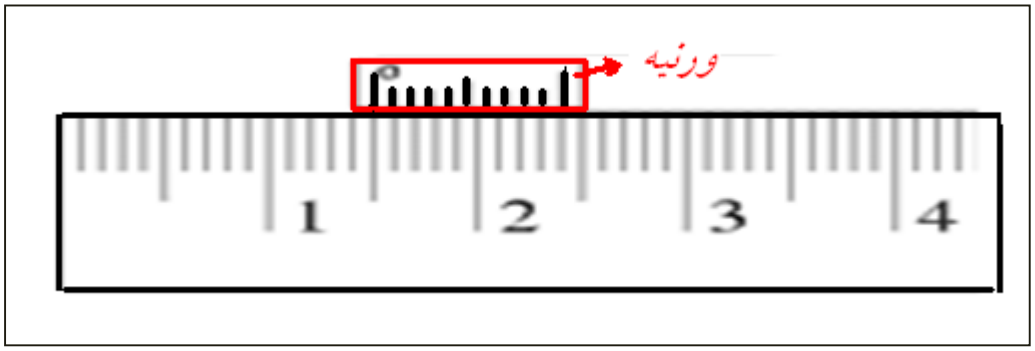
ورنیه در خواندن دقیق‌تر تا کسری از ریزترین درجه بندی کمک می‌کند. برای مثال، می‌توانیم با استفاده از ورنیه متصل به **خط‌کش معمولی**، طول یک جسم را با دقت دهم یا صدم میلی‌متر نیز اندازه‌گیری نماییم. اصول کار ورنیه بر این اساس است که درجه‌بندی ورنیه از لحاظ اندازه با درجه‌بندی اصلی وسیله اندازه‌گیری متفاوت ا ست. بدین ترتیب که اگر x اندازه هر مقیاس ورنیه با شد و درجه از ورنیه برابر با y اندازه هر مقیاس ا صلی با شد، nدرجه از ورنیه بر n-1 درجه از درجه بندی مقیاس ا صلی مطابق ا ست بنابراین طول هر مقیاس ورنیه(x) برابر است با:

$$nx = (n-1)y \Longrightarrow x = \frac{n-1}{n}y$$

مثلا اگر 10 درجه از ورنیه بر 9 درجه از خط‌کش منطبق باشد، طول هر درجه از ورنیه برابر خواهد بود با $x = \frac{9}{10} \times 1mm = 0/9mm$. و کمترین مقدار قابل خواندن توسط ورنیه (دقت ورنیه) برابر است با:

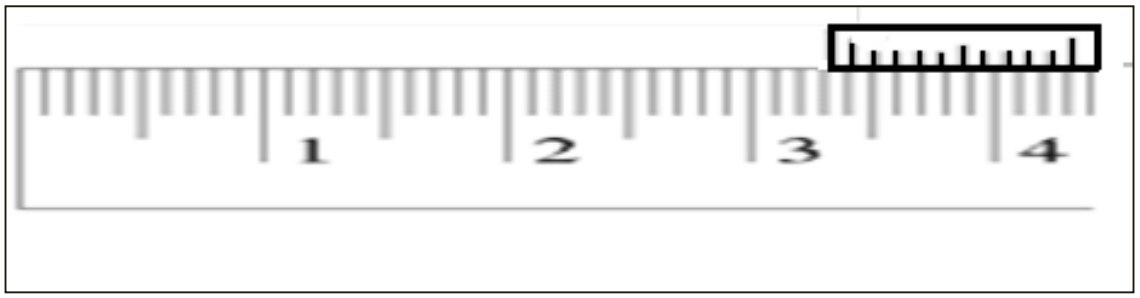
$$y - x = y - \frac{n-1}{n}y = \frac{1}{n}y$$

برای مثال در مورد بالا دقت ورنیه مورد استفاده برابر است با یک‌دهمِ میلی‌متر.



شکل 1- 5

برای مثال ورنیه شکل فوق دارای 10 درجه است و طول آن با طول 9 درجه خط‌کش ثابت برابر است، لذا هر درجه ورنیه به اندازه $\frac{1}{10}$ درجه از درجه خط‌کش ثابت کوچک‌تر ا ست. در این شکل وقتی صفر ورنیه بر روی صفر خط کش ثابت قرار داشته باشد، اولین شماره ورنیه از اولین شماره خط‌کش ثابت به اندازه $\frac{1}{10}$ عقب‌تر است و به همین ترتیب دومین شماره، $\frac{2}{10}$ و آخرین شماره ورنیه نیز به اندازه $\frac{10}{10}$ یا یک درجه از شماره خط‌کش ثابت فاصله دارد. یعنی آخرین شماره ورنیه بر روی نهمین شماره خط کش ثابت واقع شده است. حال اگر ورنیه حرکت داده شود به نحوی که مثلاً ششمین درجه آن با ششمین درجه خط‌کش ثابت روبرو شود، میزان جابجایی آن برابر 0.1×6 یا $0.6mm$ خواهد بود.



شکل 1- 6

برای مثال در شکل فوق **صفر ورنیه** به اندازه 34 درجه خط کش ثابت (34 میلی متر) و کسری از آن حرکت کرده ا ست که با توجه به اینکه سومین درجه ورنیه بر سومین درجه خط کش ثابت منطبق شده، میزان جابجایی برابر خواهد بود با:

$$34+3\times0.1=34.3\ \text{mm}$$

مقدار عدد **n** در ا سباب‌های اندازه‌گیری مختلف، متفاوت ا ست ولی ا صول کلی ورنیه‌ها یکی ا ست. برای استفاده از ورنیه باید ابتدا تعداد درجات خط‌کش ثابت را که قبل از صفر ورنیه قرار دارند قرائت نمود، سپس درجه‌ای از ورنیه که روبروی یکی از درجات خط‌کش ثابت قرار گرفته را معین نموده و این عدد را در $\frac{1}{n}y$ **ضرب** نموده و با عدد اول جمع نمود.

♦ **روش آزمایش:**

1- دوربین گونیومتر را به بی‌نهایت میزان کنید. کلیماتور را مقابل دوربین قرار دهید و شـــکاف آن را تغییر دهید تا تصویر شکل را بدون پارالاکس بر رتیوکل دوربین ببینید.

شکاف را با نور زرد سدیم روشن کنید و توری را بر میزچه گونیومتر قرار دهید به طوری که شیارهای آن موازی با محور دوران دوربین باشد و سطح توری عمود بر محور کلیماتور و سطح خط کشیده توری به سمت دوربین باشد. در این حالت زاویه i تقریبا صفر است دوربین را به آهستگی بگردانید. خطوط زردی موازی تصویر شکاف در آن خواهید دید.

2- خصـــوط زرد را به ترتیب بر ریتکول دوربین بیاورید و در مرتبه های یک، دو، ســـه، و... زوایای $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \ldots$ را از طرف چپ و زوایای $\theta'_1, \theta'_2, \theta'_3, \ldots$ را از طرف راســـت اندازه‌گیری کنید. اگر زوایای θ_1 و θ_1' یعنی خطوط اول زرد سـمت چپ و راسـت با هم برابر نباشـد نتیجه می شـود که سـطح توری عمود بر امتداد شعاع تابش نیست. آن اندازه‌ای که ممکن است اصلاح کنید ولی در فرمول مقدار متوسط زوایه‌های چپ و راست را به کار ببرید.

3- با دانستن یک طول موج معلوم فاصله دو خط توری را به دست آورید. خطای مطلق و نسبی آن چیست؟

4- با دانستن فاصله دو خط توری، طول موج نور سدیم را به دست آورید. خطای مطلق و نسبی آن چیست؟

5- توان جدا کنندگی توری را در طیفهای متوالی به دست آورید.

اندازه گیری اختلاف طول موج دو خط زرد سدیم(D_1, D_2)

لامپ سدیم را در مقابل شکاف لوله موازی ساز گونیومتر قرار داده و عرض شکاف را تا حد ممکن کوچک کنید. تصویر شکاف را در دوربین بیابید. با چرخاندن شیئی دوربین می‌توان تصویر را تا حد ممکن باریک کرد. نوار $m = 0$ را پیدا کرده و Ψ_0 را تعیین کنید. لوله دوربین را در یکی از جهات چپ یا راســـت به آرامی به حرکت درآورید و ضـــمن این‌که بیشـــینه‌های اصـــلی را شـــمارش و عدد m مربوط به آنها را در نظر دارید به

بیشینه‌ها دقیق شوید. در مرتبه‌ای از m، ملاحظه خواهید کرد که دو خط بسیار باریک مجاور یکدیگر مشاهده می‌شوند که در مرتبه قبلی m ظاهر نشده بود. این مرتبه را یادداشت کنید(m_{min}). سپس دوربین را به مرتبه های بالاترm ببرید. در حالات بعدی فاصله دو خط مزبور بیشتر و بیشتر خواهد شد. در بالاترین مرتبه قابل رویت توقف کنید و مرتبه آن m_{max} و زوایای Ψ'_{1max} و Ψ'_{2max} دو خط زرد را یاداشت کنید. همین زوایا را برای m_{max} در سمت دیگری که طیف قابل مشاهده است، یادداشت کنید و آنها را Ψ''_{1max} و Ψ''_{2max} بنامید. مقادیر θ'_{1max} و θ'_{2max} و θ''_{1max} و θ''_{2max} را به صورت زیر محاسبه کنید:

$$\theta'_{1max} = |\psi'_{1max} - \psi_0|$$
$$\theta'_{2max} = |\psi'_{2max} - \psi_0|$$
$$\theta''_{1max} = |\psi''_{1max} - \psi_0|$$
$$\theta''_{2max} = |\psi''_{2max} - \psi_0|$$

با داشتن مقادیر θ_{1max} و θ_{2max}

$$\theta_{1max} = \frac{\theta'_{1max} + \theta''_{1max}}{2}$$
$$\theta_{2max} = \frac{\theta'_{2max} + \theta''_{2max}}{2}$$

طول موجهای D_1 و D_2 را محاسبه کنید:

$$\lambda_1 = \frac{a \sin \theta_{1max}}{m_{max}}$$
$$\lambda_2 = \frac{a \sin \theta_{2max}}{m_{max}}$$

و از آنجا مقدار $\Delta\lambda = |\lambda_1 - \lambda_2|$ را بدست آورده و خطای مطلق و نسبی آن را تعیین کنید.

قدرت تفکیکی توری $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$ و خطای مطلق و نسبی آن را به دست آورید.

آزمایش 2

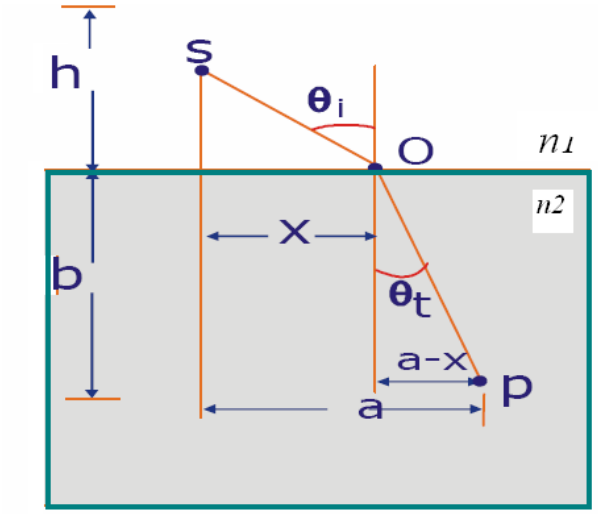
اندازه‌گیری ضریب شکست تیغه شیشه‌ای و مایعات

قانون اسنل:

قوانین شکست نور را می‌توان بر اساس اصل فرما استخراج کرد. طبق این اصل پرتو نور در عبور از یک نقطه به نقطه دیگر مسیری را دنبال می‌کند که زمان لازم برای طی آن، در مقایسه با مسیرهای مجاور، یا مینیمم باشد و یا ماکزیمم و یا تغییر نکند (یعنی مانا باشد) و یا به عبارت دیگر باریکه نوری یک سطح مشترک را می‌پیماید، راه راست و کوتاه‌ترین، راهی است که در کمترین زمان پیموده می‌شود.

اثبات قانون شکست(قانون اسنل) طبق اصل فرما:

پرتو شکل زیر را در نظر بگیرید که از محیط 1 به 2 شکسته می شود.



شکل2- 1

می توان گفت کوتاه‌ترین زمانِ عبور با مسیر واقعی نور تطبیق خواهد کرد. برای زمان طی مسیر نور داریم:

$$t = \frac{SO}{v_1} + \frac{OP}{v_2}$$

و با توجه به شکل داریم:

$$t = \frac{(h^2 + x^2)^{1/2}}{v_1} + \frac{(b^2 + (a-x)^2)^{1/2}}{v_2}$$

برای یافتن کمینه t بر حسب x خواهیم داشت:

$$\frac{dt}{dx} = \frac{x}{v_i(h^2 + x^2)^{1/2}} + \frac{-(a-x)}{v_t(b^2 + (a-x)^2)^2} = 0$$

با استفاده از شکل، این رابطه را می‌توان به صورت:

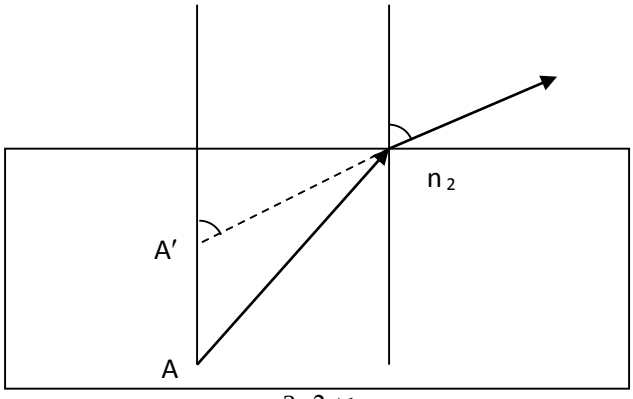
$$\frac{sin\theta_i}{v_1} = \frac{sin\theta_t}{v_2}$$

نوشت و از آنجا که: $v_1 / v_2 = n_2 / n_1$

رابطه بالا به قانون اسنل $n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$ تبدیل می‌شود.

عمق ظاهری

یکی از نتایج شکست نور در عبور از یک محیط به محیط به محیط دیگر آن است که عمق ظاهری این محیط‌ها با عمق واقعی آن‌ها تفاوت دارد. همان‌طور که در شکل (2-2) نشان داده شده است. تصویر نقطه A واقع در درون مایع یا یک جسم شفاف در نقطه‌ای مانند A' که به سطح آن مایع نزدیک‌تر است تشکیل می شود، بنابر این داریم:



شکل2- 2

$$\left.\begin{aligned}\tan i = \frac{BD}{A'B} \Rightarrow \frac{\sin i}{\cos i} = \frac{BD}{A'B}\\ \tan r = \frac{BD}{AB} \Rightarrow \frac{\sin r}{\cos r} = \frac{BD}{AB}\end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{\sin i}{\sin r} \bullet \frac{\cos r}{\cos i} = \frac{AB}{A'B}$$

از طرفی داریم:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \frac{n_2}{n_1}.\frac{\cos r}{\cos i} = \frac{AB}{A'B}$$

اگر پرتو فرودی نزدیک به خط عمود باشد، یعنی r و i بسیار کوچک باشند در این صورت cosi و cosr هر دو تقریباً مساوی یک بوده و در نتیجه خواهیم داشت:

$$\frac{AB}{A'B} = \frac{n_2}{n_1}$$

در صورتی که محیط اول، هوا باشد:

$$n_1 = 1, n_2 = n \Rightarrow \frac{AB}{AB - AA'} = n \qquad (1)$$

♦ هدف:

اندازه‌گیری ضریب **شکست تیغه شیشه‌ای و مایعات به وسیله میکروسکوپ**

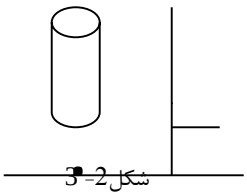
♦ وسایل آزمایش:

میکروسکوپ، تیغه شیشه‌ای، مایع.

♦ روش آزمایش:

الف)

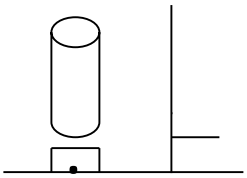
1- روی یک کاغذ سفید علامت + بگذارید و آن را روی صفحه میکروسکوپ قرار داده و در جای خود ثابت نگه دارید. لوله میکرو سکوپ را تغییر مکان دهید تا علامت به و ضوح دیده شود. درجه ورنیه را در این حالت بخوانید. (a)



شکل2- 3

2- تیغه مورد نظر را روی صفحه کاغذ قرار دهید. تصویر + محو می شود (چرا ؟). حال لوله میکرو سکوپ را آنقدر جابه‌جا کنید تا تصویر + مجددا به وضوح دیده شود. درجه ورنیه را بخوانید (b) تفاوت دو درجه خوانده شده برابر است با:

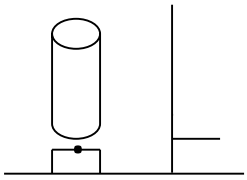
$$AA' = d = a - b$$



شکل2- 4

3- بر روی سطح بالایی تیغه 0 بگذارید و تیغه را روی کاغذ طوری قرار دهید تا علامتهای + و 0 در امتداد خط قائم قرار گیرند. اکنون لوله میکروسکوپ را جابه‌جا کنید تا علامت 0 به طور وضوح دیده شود. درجه ورنیه را در این حالت بخوانید. ضخامت تیغه برابر است با:

$$AB = e = a - c$$



شکل2- 5

با در دست داشتن مقادیر d و e (AB,AA') می توان ضریب شکست تیغه را در فرمول (1) به دست آورد. برای دستیابی به نتیجه دقیق‌تر، آزمایش را سه مرتبه تکرار کرده و جدول زیر را تکمیل کنید.

شماره آزمایش	a	b	C
1			
2			
3			

$\bar{a}$	$\bar{b}$	$\bar{c}$	$\bar{d}=\bar{a}-\bar{b}$	$\bar{e}=\bar{a}-\bar{c}$	n	Δn

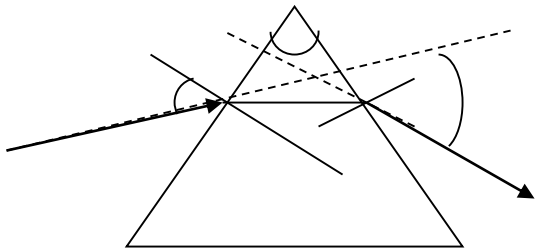
خطای مطلق و خطای نسبی n را تعیین کنید.

ب) در قسمت بالایِ تهِ یک ظرف شیشه‌ای علامتی بگذارید و به وسیله میکروسکوپ تصویر واضح آن را مشـــاهده کنید. ســـپس تا ارتفاع e در آن مایع مورد نظر را بریزید و مقادیر d,e را مانند قبل اندازه‌گیری کنید. ضریب شکست مایع و خطای مطلق و نسبی آن را به دست آورید.

آزمایش 2 قسمت دوم

اندازه گیری ضریب شکست منشور و محاسبه ضرائب کوشی

منشور محیطی است محدود به دو سطح تخت که با هم زاویه می سازد فرض کنید که این محیط دارای ضریب شکست n و در محیطی با ضریب شکست 1، مثلا هوا قرار گرفته است. یک پرتو تابشی مانند PQ در عبور از منشور دوبار شکسته می شود و هنگام خروجی به اندازه زاویه δ از راستای تابش منحرف می شود.



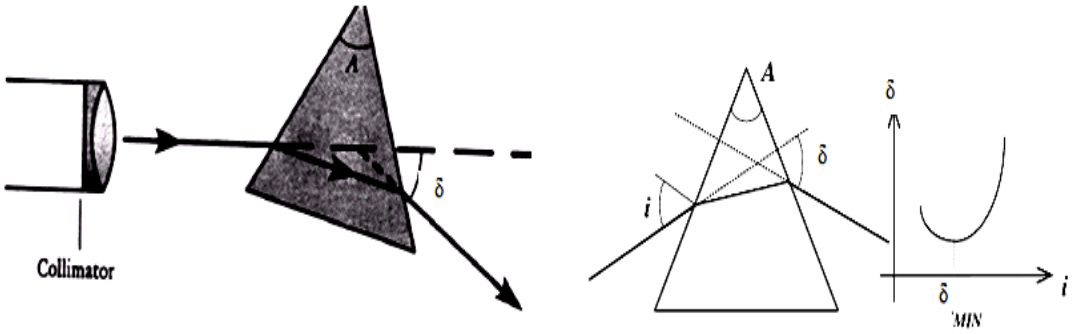
همانطور که از شکل مشخص است داریم:

$$\sin i = n \sin r (1)$$
$$\sin i' = n \sin r' (2)$$
$$r + r' = A (3)$$
$$\delta = i + i' - A$$

رابطه (3) و (4) را به روشی هندسی اثبات کنید.

از روابط (1) و (2) و (3) برای رسم پرتوها و از رابطه (4) برای محاسبه انحراف پرتوها استفاده می‌کنند.

یک مسیر ویژه وجود دارد که برای آن انحراف کمینه است (شکل2-7).



شکل2- 6

این مسیر از قرار دادن $\frac{d\delta}{di}=0$ به دست می‌آید. از معادله (4) نتیجه می‌شود:

$$\frac{d\delta}{di}=1+\frac{di'}{di}$$

و به ازای $\frac{d\delta}{di}=0$ خواهیم داشت:

$$\frac{di'}{di}=-1$$

بنا به معادله‌های (2) و (3) داریم:

$$\cos i di = n\cos r dr$$
$$\cos i' di' = n\cos r' dr'$$
$$dr=-dr'$$
$$\Rightarrow \frac{di'}{di}=\frac{-\cos r'\cos i}{\cos r\cos i'} \Rightarrow \frac{-\cos r'\cos i}{\cos r\cos i'}=\frac{di'}{di}=-1$$
$$\Rightarrow \cos r'\cos i=\cos r\cos i' \quad (5)$$

از طرف دیگر طبق روابط (1) و (2) داریم:

$$\sin i\sin r'=\sin i'\sin r$$

با توجه به روابط (5) و (6) و همچنین با توجه به این‌که چهار زاویه r',i',r,i از $\frac{\pi}{2}$ کوچک‌ترند نتیجه

می‌گیریم که:

$$i = i'$$
$$r = r'$$

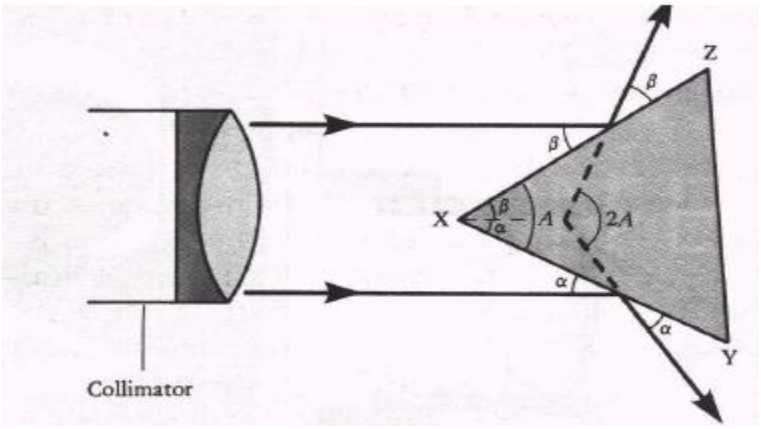
در این صورت داریم (طبق معادله (4)):

$$\delta_{\min} = i + i - A = 2i - A$$
$$\Rightarrow i = \frac{1}{2}(\delta_{\min} + A)(7)$$

هم‌چنین طبق معادله (3) داریم:

$$r + r = A \Rightarrow 2r + A \Rightarrow$$
$$r = \frac{1}{2}A \qquad (8)$$

حداقل زاویه انحراف است. در این حالت مسیر پرتو نسبت به دو سطح منشور متقارن است. (در صورتی‌که مسیر پرتو نسبت به دو سطح منشور متقارن نباشد مطابق شکل زیر داریم: $A = \alpha + \beta$)



شکل2- 7

با قرار دادن معادلات (7) و (8) در معادله (1) به دست می آید:

$$n = \frac{\sin\frac{1}{2}(\delta_{\min} + A)}{\sin(\frac{A}{2})} \qquad (9)$$

❖ **پاشندگی**

در یک محیط پاشنده که ضریب شکست آن به بسامد (طول موج) بستگی دارد شکسته شود، سرعت نور برای طول موج‌های مختلف، متفاوت خواهد بود؛ بنابراین زاویه شکست نیز به بسامد (یا طول موج) بستگی خواهد داشت. اگر موج تابشی، ترکیبی از چندین بسامد یا طول موج باشد، طول موج‌های مختلف با زاویه‌های مختلف شکسته می‌شوند. این پدیده را پاشندگی می‌نامند. مثلا اگر نور از منشور بگذرد، پرتوهای خروجی رنگ‌های گوناگون موازی نیستند و پاشندگی به ویژه در کنار منشور، بسیار قابل توجه است. به همین دلیل در اسباب‌هایی به نام بیناب‌نما (اسپکتروسکوپ) از منشور برای تجزیه نور به طور گسترده استفاده می‌شود.

در ناحیه مریی بیناب تغییرات ضریب شکست انواع شیشه‌های شفاف بر حسب طول موج (منحنی پاشندگی) را می‌توان به صورت زیر که به رابطه کوشی معروف است، نوشت:

$$n = a + \frac{b}{\lambda^2} + \frac{c}{\lambda^4} + \dots$$

که در آن a و b و c و... ضرائب ثابت (ضرائب کوشی) و λ طول موج نور است. در عمل چون ضرائب به بعد بسیار کوچک هستند از آنها چشم‌پوشی کرده و رابطه کوشی را به شکل زیر مورد استفاده قرار می دهند:

$$n = a + \frac{b}{\lambda^2} \quad (10)$$

در واقع ضریب شکست با تقریب رضایت بخشی به وسیله فرمول (10) محاسبه می‌شود.

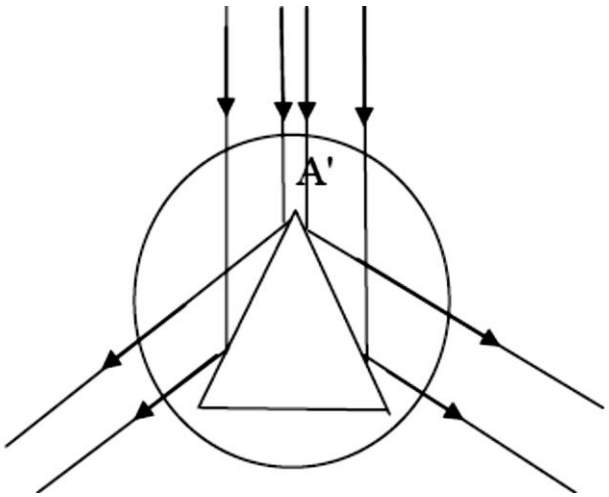
وسایل آزمایش: لامپ نور معمولی، منبعی تغذیه نور معمولی، لامپ جیوه، منبع تغذیه لامپ جیوه، گونیومتر، و منشور.

- **الف) اندازه گیری زوایه راس منشور**

روش آزمایش: نور لامپ معمولی را مقابل شکاف موازی‌ساز (کلیماتور) قرار دهید.

اگر قاعده منشور کوچک باشد و بتوان آن را روی میزچه به گونه‌ای قرار داد که زاویه راس منشور به محور دوران نزدیک باشد، می‌توان برای اندازه‌گیری زاویه راس منشور از این روش استفاده کرد. برای این منظور

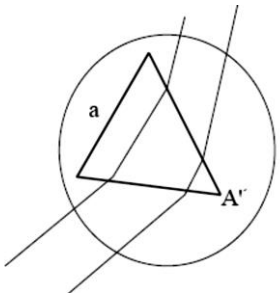
پرتوهای خارج شده از موازی ساز را مطابق شکل (4) روی دو وجه منشور فرود آورد سپس تصویر شکاف موازی ساز را پس از بازتاب از روی وجوه β و α منشور در دوربین مشاهده کنید. در هر دو حالت دوربین را طوری قرار دهید که تصویر شکاف موازی‌ساز بر تار عمودی چشمی دوربین (تار رتیکول) منطبق شود. زاویه را هر دو حالت از روی گونیومتر بخوانید و یادداشت نمایید. تفاضل این دو زاویه برابر با $2A$ (دو برابر زاویه راس منشور) می‌باشد. چرا؟



شکل2- **8**

ب) اندازه گیری زاویه مینیمم انحراف و ضریب شکست منشور

روش آزمایش: نور لامپ را مقابل شکاف موازی قرار دهید و طیف آن را در دوربین پیدا کنید. فراموش نکنید که زاویه فرودی باید خیلی زیاد با شد و همچنین انحراف پرتوها به سوی قاعده منشور با شد. شکل (2-10).



شکل2- 9

شکاف موازی‌ساز را تا جای ممکن باریک کنید و یکی از خطوط طیف را در نظر بگیرید. با چرخاندن میزچه منشور را بچرخانید. همزمان با چرخاندن منشور خط طیف مورد نظر را تو سط دوربین تعقیب کنید. به حالتی خواهید رسید که اگر به چرخش میزچه در همان جهت ادامه دهید خط طیفی می‌ایستد و سپس جهت حرکتش برعکس می شود. در این وضعیت، کمینه انحراف روی می‌دهد. (هنگامی که وضعیت مینیمم انحراف را در دوربین جستجو می‌کنید ممکن است خط مورد نظر از میدان دید دوربین خارج شود. در این صورت دوربین را نیز بچرخانید و این خط را دنبال کنید. در هر بار دوربین را طوری تنظیم کنید که خط طیفی بر تارِ رتیکول منطبق شود). در وضعیتی که مینیمم انحراف روی می‌دهد زاویه را یادداشت نمائید Θ_1. این کار را برای خطوط طیفی دیگر نیز تکرار کنید، Θ_2 وΘ_3 حال منشور را از روی میزچه بردارید و دوربین را مقابل موازی‌ساز قرار دهید. تصویر شکاف موازی‌ساز (به رنگ لامپ جیوه) را پیدا کرده و تارِ رتیکول را بر آن منطبق کند. مجددا زاویه را یادداشت نمائید. θ_0 زاویه کمینه انحراف خطوط طیفی از روابط زیر به دست می آیند.

$$(\delta_1)_{\min} = |\theta_0 - \theta_1|$$
$$(\delta_2)_{\min} = |\theta_0 - \theta_2|$$

و الی آخر.

با قرار دادن اندازه‌گیری‌های فوق در رابطه (9) ضریب منشور را برای کلیه خطوط طیف جیوه بدست آورید.

- **ج) محاسبه ضرائب کوشی**

برای تحقیق رابطه کوشی، دو خط طیفی را انتخاب کرده و طول موج‌های آن را از جدول مندرج در صفحه بعد تعیین کنید.

با داشتن طول موج و ضریب شکست (که از قسمت ب به دست آمده) مربوط به این دو خط طیفی می‌توان ضرائب a و b در معادله کوشی را به دست آورد. بدین ترتیب که با قرار دادن مقادیر فوق در معادله (10) داریم:

$$n_1 = a + \frac{b}{\lambda_1^{\,2}}$$

$$n_2 = a + \frac{b}{\lambda_2^{\,2}}$$

با حل این د ستگاه دو معادله و دو مجهولی ضرائب را به د ست آورید. سپس با دا شتن آنها طول موج‌های سایر خطوط را به کمک رابطه (10) محاسبه و با طول موج‌های داده شده در جدول مقایسه کنید.

در هر یک از قسمتهای (الف)، (ب) و (ج) خطای مطلق و نسبیA , δ_{min} و n را تعین کنید.

رنگ	طول موج $\lambda(A^{\circ})$
قرمز	6234 / 3
زرد اول	5790 / 6
زرد دوم	5769 / 6
سبز پررنگ	5460 / 7
سبز کم رنگ	4960 / 3
آبی	4916 / 0
نیلی	4358 / 3
بنفش کم رنگ	4077 / 8
بنفش پررنگ	4046 / 6

آزمایش 3

اندازه‌گیری غلظت محلول‌های فعال نوری توسط پلاریمتر

با اســتفاده از دســتگاه پلاریمتر که شــرح آن در زیر خواهد آمد، می‌توان غلظت محلول‌های فعال نوری را اندازه‌گیری کرد. محلول‌های فعال نوری از اجسـام آلی هسـتند که دارای کربن نامتفارن می‌باشـند. مانند اسـید تارتاریک، اسـید لاکتیک، گلوکز، سـاکاروز، لاکتوز و قندهای دیگر. این محلول‌ها دارای خاصـیت پلاریزاسـیون چرخشی هستند، یعنی زاویه ارتعاش پلاریزه خطی را تغییر می‌دهند. این خاصیت به این دلیل به وجود می‌آید که ضریب شکست این محیط برای قطبش‌های دایروی چپ‌گرد و راست‌گرد متفاوت است. این تفاوت ضریب شکست به خاطر ساختار مارپیچی چپ‌گرد یا راست‌گرد مواد فعال نوری است. زاویه چرخشی به جنس محلول، غلظت محلول، و فاصله ای که نور در داخل محلول طی کرده بستگی دارد:

$$a = p.l.c \quad (1)$$

که در آن a زاویه چرخش، cغلظت محلول، l طول پیموده شـــده، و p چرخش ویژه یا توان چرخانندگی می‌باشـــد. بنا به تعریف چرخش ویژه عبارت اســـت از زاویه‌ای که ارتعاش پلاریزه خطی با طول موج $5893A^{\circ}$ (طول موج متوسط سدیم) ضمن عبور از ستونی از مایع به طول یک دسی‌متر و به غلظت یک گرم برسانتی‌متر مکعب می‌چرخد.این کمیت به درجه حرارت بســـتگی دارد. اگر محلول ارتعاش را در جهت عقربه ای ســـاعت گردانده باشد آن را راست‌گرد و در غیر این‌صورت چپ‌گرد می‌گویند.

الگوی مکانیکی قطبش پذیری ناهمسانگرد:

یکی از الگوهایی که برای قطبش‌پذیری ناهمسانگرد یک بلور ارائه شده است، الگوی فنری است به گونه‌ای که الکترون‌ها توسط فنرهایی به اتم‌هایشان مقیدند. این قید توسط فنرهایی مشابهت داده شده چون سـاختار بلور نا همسـانگرد اسـت، این میزان نیروی بین هسـته و الکترون در تمام اتم‌ها یکسـان نیست، بنابراین سختی فنرها در جهت‌های مختلف جابه‌جایی الکترون از محل ترازمندیش در شبکه بلور

متفاوت اســـت پس جابه‌جایی الکترون از محل ترازمندیش در اثر یک میدان خارجی هم به مقدار آن و هم به جهت آن وابسته می باشد.

تیغه های نیم موج

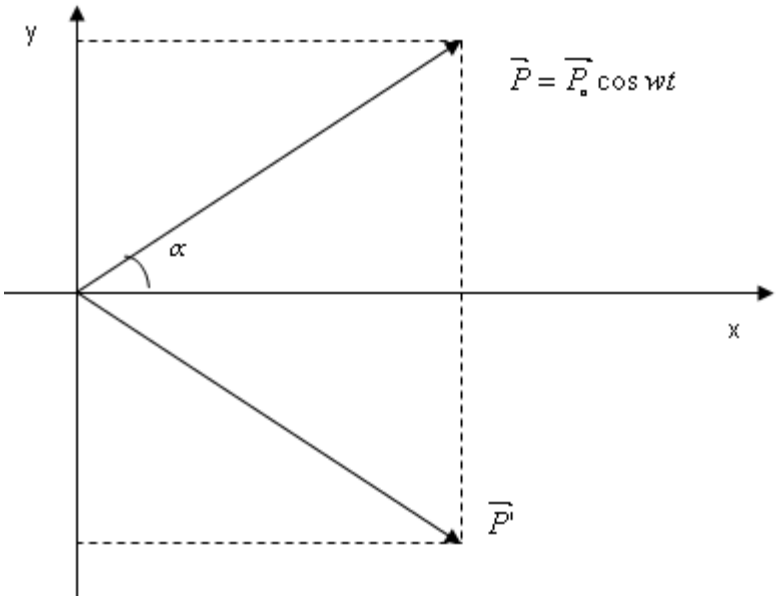
هرگاه نور قطبیده روی یک بلور فرود آید، ارتعاش آن در دو راســتای معین به نام راســتاهای برگزیده قابل تجزیه است. چون سرعت انتشار این دو مولفه در بلور یکسان نیست موقع خروج آن بین دو ارتعاش یک اختلاف فاز بوجود می‌آید که به ضـخامت بلور و ضـریب شـکسـت آن بسـتگی دارد. اگر ارتعاش نور قطبیده به صـورت $\vec{P} = \vec{P_0} \cos wt$ ؛ و زاویه آن با یکی از راســتاهای برگزیده، a باشــد، دو مولفه ارتعاش در موقع ورود به بلور به صورت زیر خواهد بود:

$$x = P_0 \cos a \cos wl$$
$$y = P_0 \sin a \cos wl \qquad (2)$$

و در موقع خروج از بلور، به خاطر اختلاف فاز بین دو ارتعاش به صورت زیر در می‌آید:

$$x = P_0 \cos a \cos wl$$
$$y = P_0 \sin a \cos(wl - \psi) \qquad (3)$$

از طرفی می‌دانیم که اختلاف فاز و اختلاف راه نوری به وســیله رابطه $\delta = \frac{\lambda\psi}{2\pi}$ به یکدیگر مربوط می شوند، اگر ψ برابر π با شد، داریم: $\delta = \frac{\lambda}{2}$ و در این حالت چنین تیغه‌ای را نیم‌موج می‌گویند. در تیغه‌های نیم‌موج، طبق معادلات (2) و (3) جهت y عوض می‌شود و ارتعاش نسبت به راستای برگزیده x قرینه می‌شود. بنابراین تیغه نیم‌موج ارتعاش را نسبت به راستایِ برگزیده خود قرینه می‌سازد، شکل (3-1).



شکل 3- 1

اجزای اصلی یک پلاریمتر:

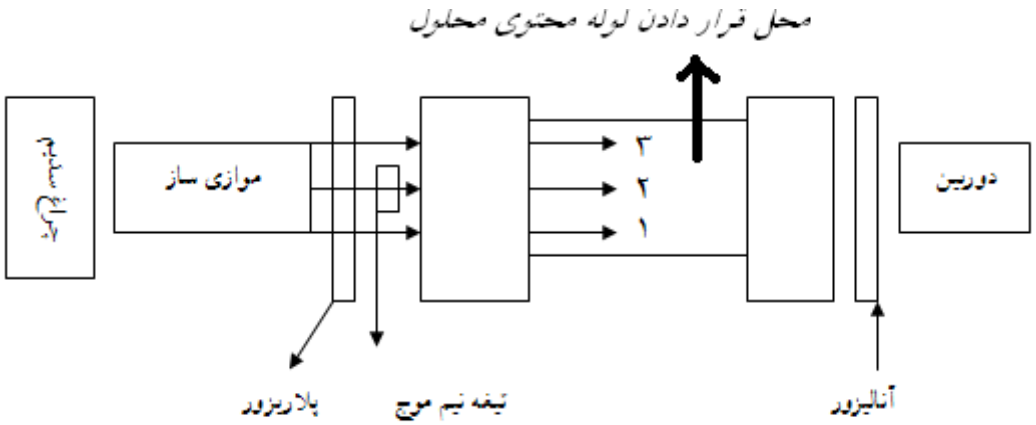
- ✓ **منبع نورانی تکرنگ (چشمه نور تکرنگ)**
- ✓ **منشور قطبنده نور (پولاریزور)**
- ✓ **منشور تجزیه کننده (آنالیزور نور)**
- ✓ **لوله آزمون**
- ✓ **تیغه نیم موج**
- ✓ **عدسی محدب**
- ✓ **رد یاب نوری**

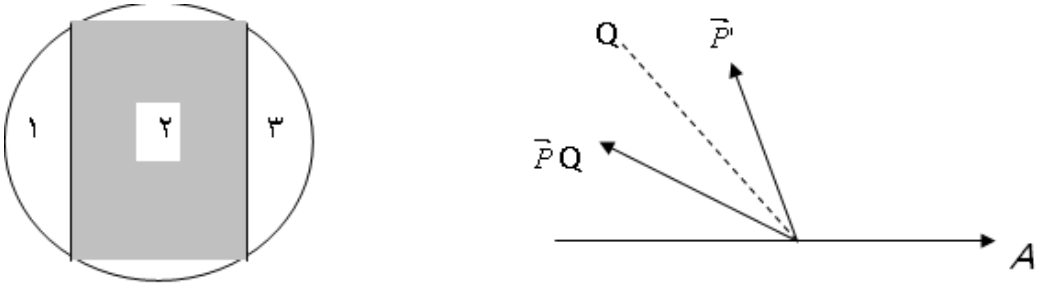
علت این‌که در پلاریمتر از چ شمه نور تکرنگ ا ستفاده می شود، این ا ست که میزان چرخش نور با طول موج تغییر می‌کند. از این‌رو از نور تکفام ا ستفاده می شود. از نظر تاریخی از خط D سدیم ا ستفاده می شود، برای این‌منظور از لامپ بخار سدیم با صافی که تمام طول موجها به ا ستثنای خط D را حذف می‌کند، ا ستفاده می شود. لامپ‌های بخار جیوه هم سودمند می‌با شند. عد سی محدب به منظور بزرگ

نشان دادن تصویر می‌باشد که بعد از آنالیزور قرار می‌گیرد. ردیاب نوری موجود ممکن است چشم انسان باشد، اگرچه اخیراً پلاریمترهای فتوالکتریکی نیز ساخته شده است.

در این دســـتگاه در یک طرف محل قرار دادن لوله محتوی محلول، پلاریزور و در طرف دیگر، آنالیزور قرار دارد. پلاریزور به قطبش‌گری گفته می‌شـود که ابتدا در مسـیر نور ورودی قرار می‌گیرد تا نور ورودی را قطبیده کند. آنالیزور قطبش‌گری اســـت که برای تحلیل (آنالیز) تأثیر دســـتگاه روی نور به کار می‌رود. یک کلیماتور (موازی ســـاز) کوچک قبل از پلاریزور و یک دوربین بعد از آنالیزور قرار دارد. اگر ابتدا با عمود کردن آنالیزور بر $\vec{P}$ (جهت ارتعاش خارج شده از پلاریزور) خاموشی ایجاد کنیم، پس از قرار دادن محلول بر سر راه $\vec{P}$ ارتعاش به اندازه a چرخیده به $\vec{P}_1$ تبدیل و آنالیزور روشن خواهد شد. حال اگر آنالیزور را به اندازه a و در همان جهت چرخش p بچرخانیم، مجددا خاموشـــی ایجاد خواهد شـــد. با اندازه‌گیری زاویه چرخش آنالیزور توســـط صـــفحه مدرجی که به آن متصل است(a) می توان c، غلظت محلول را با استفاده از فرمول (1) به دست آورد.

معمولا تشـــخیص دقیق محل خاموشـــی ممکن نیســـت و برای دقت بیشـــتر یک تیغه نیم موج روی نیم یا قسمی از پلاریزور یا آنالیزور نصب می‌شود. در دستگاه ما یک تیغه نیم‌موج روی قسمتی از پلاریزور نصب شده است.





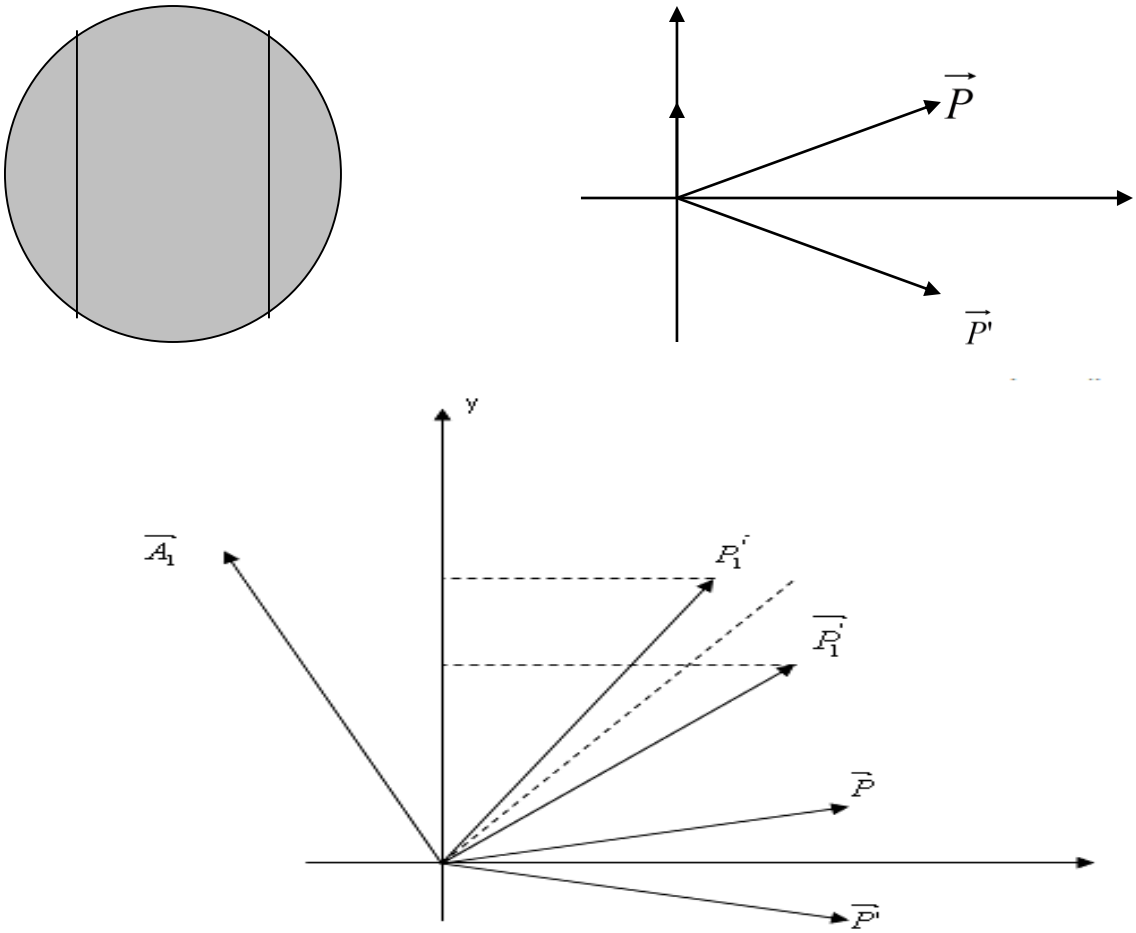
شکل 3- 2

در دوربین مطابق شکل (3-2)، سه ناحیه از یکدیگر تشخیص داده می شوند، نواحی (1) و (3) مربوط به پرتوهایی هستند که از تیغه نیم‌موج عبور نکرده و شدت نور آنها با هم برابر است. ناحیه (2) مربوط به پرتوهایی است که از تیغه نیم‌موج عبور کرده و بسته به زاویه چرخش آنالیزور می‌تواند با نواحی (1) و (3) برابر باشد و یا با آن‌ها متفاوت باشد. در شکل (3-2) نمایانگر راستای قطبش نور بدون عبور از تیغه نیم‌موج است در صورتی که $\vec{P'}$ راستای قطبش نور پس از عبور از تیغه موج است. در واقع $\vec{P'}$ قرینه $\vec{P}$ نسبت به یکی از محورهای برگزیده تیغه نیم موج مثلا Q است. جهت $\vec{A}$ نمایانگر جهت محور آنالیزور است. شدت نور در نواحی (1) و (3) متناسب با تصویر $\vec{P}$ روی $\vec{A}$ و شدت نور در ناحیه (2) متناسب با تصویر $\vec{P'}$ روی $\vec{A}$ می‌باشد. معمولاً تیغه نیم‌موج را طوری روی پلاریزور نصب می‌کنند که ارتعاش $\vec{P'}$ که پس از تیغه نیم‌موج به وجود می‌آید زاویه کوچکی حدود ده درجه با $\vec{P}$ بسازد. بدین ترتیب اگر $\vec{A}$ بر $\vec{P}$ عمود باشد قسمت‌های مربوط به $\vec{P}$ یعنی نواحی (1) و (3) تاریک و ناحیه مربوط به $\vec{P'}$ یعنی ناحیه (2) کمی روشن است و اگر $\vec{A}$ بر $\vec{P'}$ عمود باشد بر عکس. اگر $\vec{A}$ بر نیمساز $\vec{P}$ و $\vec{P'}$ عمود باشد، شکل (3-2)، یعنی مولفه‌های عبور کرده از آنالیزور با هم مساوی شده و میدان به طور یکنواخت نیمه روشن خواهد بود. پس از یکنواخت کردن سه ناحیه و قرار دادن محلول، هر یک از ارتعاشات $\vec{P}$ و $\vec{P'}$ به اندازه توسط محلول چرخیده و به $\vec{P}_1$ و $\vec{P'}_1$ تبدیل می‌شوند (شکل3-3) چون تصاویر آنها بر A دیگر قرینه و مساوی نیست شدت نور در نواحی (1) و (3) با ناحیه (2)

متفاوت خواهد شـد و یکنواختی از بین می رود. برای ایجاد یکنواختی مجدد باید آنالیزور را هم به اندازه a و در جهت چرخش $\vec{P}$ و $\overrightarrow{P'}$ گرداند (وضعیتA_1).

- **روش آزمایش:**

لوله مخصوص را از آب مقطر پرکرده و در محل مخصوص قرار دهید. با چرخاندن آنالیزور به همراه صـــفحه مدرج ناحیه را به طور یکنواخت روش کنید. زاویه را از روی صـــفحه مدرج خوانده و آن را به عنوان صفر در نظر بگیرید(Θ°). لوله را با محلولهای گلوکز با غلظتهای مختلف پر کنید و هر بار حالت یکنواختی را برای ســـه ناحیه ایجاد کنید و زاویه را بخوانید (θ) اختلاف این زوایا با (Θ°) همان زاویه چرخش یعنی a اســـت. منحنی تغییرات a با c (غلظت محلول) را رســـم کنید. لوله محتوی غلظت مجهول و را در دســـتگاه قرار دهید و زاویه چرخش آن را تعیین کنید. با اســـتفاده از منحنی، غلظت مجهول، و خطای آن را به دست آورید.



شکل 3- 3

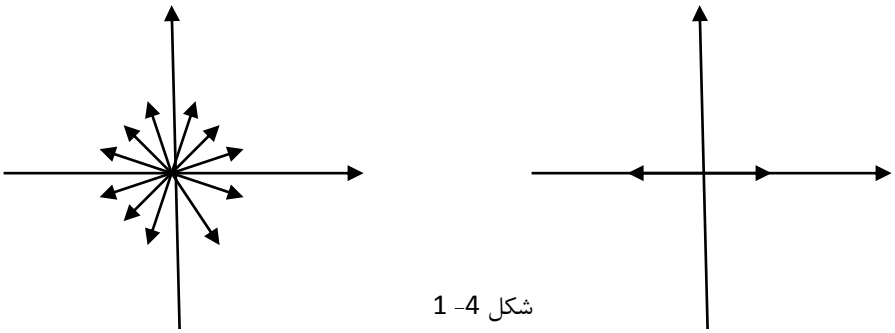
آزمایش 4

نور سنجی و دوشکستی

- **قطبش نور در اثر عبور از محیط شفاف:**

محیطهای ناهمسانگرد می‌توانند بر نور طبیعی تاثیر و انرژی نوسانات الکترومغناطیسی را که از آن می‌گذرد در امتدادهای مختلف با ضریب متفاوتی جذب کند و لذا توزیع فضایی دامنه امواج تغییر کرده و به صورت نسبی قطبیده می‌شود. مثلا اگر یک محیط ناهسانگرد شدت امواج الکترومغناطیسی را که در امتداد z منتشر می‌شوند در امتداد y و به اندازه 50 درصد و در امتداد x به اندازه 20 درصد جذب کند دامنه امواج خروجی در دو امتداد y و x تغییر کرده و به طور نسبی در امتداد x قطبیده می‌شود.

اگر میزان جذب مثلا در امتداد y 100 درصد باشد. نور خروجی از محیط قطبیده خطی می‌شود.



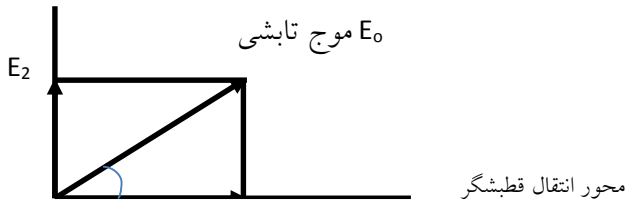
شکل 4- 1

به این محیط ناهمسانگرد قطبشگر (پلاریزور) می‌گویند. محور یک چنین قطبشگری راستای بردار الکتریکی یک موج را که کم و بیش عبور می دهد، تعریف می‌نماید. موج نوری که بردار الکتریکی آن بر محور انتقال عمود است جذب یا ضعیف می شود. یک قطبشگر ایده‌آل قطبشگری است که به طور کامل برای نور به طور خطی قطبی شده در راستای محور انتقال کدر باشد.

مورد نور غیر قطبی تابشی بر قطبشگر خطی ایده‌آل را در نظر بگیرید. چون بردار الکتریکی $\vec{E}$ لحظه‌ای را همیشه می‌توان به دو مولفه عمود بر $\vec{E}_1$ و $\vec{E}_2$ تجزیه کرد، شکل 4-2.

$\vec{E}_1$ در راستای محور انتقال قطبشگر قرار دارد. اگر $\vec{E}$ با محور انتقال زاویه θ بسازد، اندازه میدان عبور کرده برابر است با:

$$E_1 = E_0 \cos\theta$$



شکل 4- 2

شدت عبور کرده I_1 که با مربع میدان برابر است از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$I_1 = I_0 \cos^2\theta (1)$$

که در آن شدت پرتوی تابشی است. برای نور غیر قطبی تمام مقادیر با احتمال برابر روی می‌دهد. بنابراین این ضریب انتقال یک قطبشگر خطی ایده‌آل برای نور غیرقطبی در ست برابر مقدار متوسط $\cos^2\theta$ یعنی $\frac{1}{2}$ است. به رابطه (1) قانون مالوس می‌گویند. صفحات پلاروئید با مشخصات HN-a به معنی صفحه‌ای است که اگر نور طبیعی به آن بتابد a درصد آن به صورت قطبیده خطی از آن خارج می شود. مشخصه قطبشگر کامل HN-50 است که از نور طبیعی 50 درصد را به صورت قطبیده خطی عبور می‌دهد.

قطبش (پولاریزاسیون)

قطبش را از لحاظ منحنی که نوک پیکان میدان الکتریکی در صفحه مختصات رسم می‌کند و اختلاف فازی که دو مؤلفه ارتعاشی میدان الکتریکی باهم دارند، به دو دسته عمده تقسیم می‌کنند که عبارتند از:

قطبش خطی:اختلاف فاز بین مؤلفه‌های ارتعاشی میدان برابر (0 یا 180 درجه) می‌باشد و ارتعاش روی یک خط راست صورت می‌گیرد. و از ترکیب قطبش‌های دایروی راست‌گرد و چپ‌گرد بوجود می‌آیند.

قطبش دایروی:در طبیعت فقط این نوع قطبش را داریم که مؤلفه های ارتعاش آن عمود بر هم هستند و دامنه‌های ارتعاشات باهم برابرند.

قطبش بیضوی: از ترکیب منا سب قطبش‌های دایروی را ست‌گرد و چپ‌گرد بوجود می‌آید، مؤلفه‌های ارتعاشی آن بر هم عمود هستند و برخلاف قطبش دایروی دامنه ارتعاشات برابر ندارد.

پلاریزه کردن نور:

جذب در یک امتداد به معنای امکان ایجاد دو قطبی الکتریکی در آن امتداد است. به عبارت دیگر، وقتی اموج الکترومغناطیسی به شبکه سیمی می‌رسد، از طرف میدان الکتریکی به اتم‌های سیم و در نتیجه به الکترون ها نیرو وارد می‌شود و دو قطبی‌هایی تشکیل می‌شود که در طول سیم هم‌سو می‌شوند . یعنی الکترون‌ها مقید می‌شوند و نمی‌توانند دراین راستا ارتعاش کنند، پس میدان الکتریکی دراین امتداد، از شبکه سیمی خارج نمی‌شود و انرژی وابسته به آن بصورت انرژی گرمایی تلف می‌شود. بدین ترتیب، موج خروجی از شبکه سیمی یک موج قطبیده خطی خواهد بود که امتداد بردار میدان الکتریکی آن عمود بر امتداد سیم های شبکه می‌باشد .

چون طول موج موج‌های نوری خیلی کوتاه است، مولفه میدان الکتریکی در راستای طول سیم بطور کامل حذف نخواهد شد. یعنی باید فاصله بین سیم‌ها از طول موج نور فرودی، کوتاه‌تر و یا حداکثر مساوی آن باشد تا جذب میدان الکتریکی بطور کامل صورت گیرد.

پلاروید :

برای حل مشـکل فاصـله بین سـیم‌ها، از مولکول‌های پلیمر بلند زنجیره، به جای سـیم‌های نازک و بلند ا ستفاده شد. این پلیمر شامل اتم‌هایی مثل ید می‌با شد که هدایت زیادی را در طول زنجیره فراهم می‌آورند و مولکول‌های آن تقریبا موازی یکدیگر هم خط می شوند. ر سانندگی زیادی که تو سط اتم‌های ید ایجاد می شود، باعث می‌شود میدان الکتریکی موازی با مولکول‌های هم‌سو شده، جذب شود. و میدان عمود از پلیمر عبور کند و بدین ترتیب، موج قطبیده خطی حاصل شود. بلورهایی که شامل چنین مولکول‌هایی می‌باشند، پلاروید نامیده می شوند. پلارویدی که تو سط Edwin H.Land در سال 1932 ساخته شد، از کریستال‌های بسیار ریز سولفات یدوکونین تشکیل شده ا ست که سوزنی شکل هستند، سطح مقطع کوچک ولی طول بلند دارند. این کریسـتال‌ها در یک فیلم پلیمر سـلول نیتروژنی شـفاف، کنار هم قرار گرفته اند .نوع دیگر پلاروید،یک نوع پلا ستیک ترکیبی ورقه ورقه شده ا ست که برای قطبش نور ا ستفاده می شود. هر گاه یک پرتو نوری به چنین پلارویدی بتابد، کریستال‌های هم‌سو شده، به علت ر سانندگی زیاد حاصل از اتم‌های ید، مولفه میدان الکتریکی موازی با امتداد هم‌سو شده را جذب می‌کنند و مولفه میدان الکتریکی عمود بر امتداد هم‌سو شده مولکول‌ها از پلاروید عبور می‌کن. بدین ترتیب، این مولکول‌های هم سو شده مانند سیم‌های شبکه پلاریزور سیمی عمل می‌کنند و از آن‌جا که فاصـله بین دو زنجیره مولکول‌های مجاور، قابل مقایسـه با طول موج نوری اسـت، لذا پلاروید وسـیله مناسـبی برای قطبش نور اسـت.

- **هدف آزمایش**

تعیین مشخصه پلاروئید و تحقیق قانون مالوس

- **لوازم آزمایش:**

لیزر هلیم- نئون پلاریزور- مدرج 2 عدد میزچه اپتیکی،نور سنج دیجیتال، پهن کننده پرتو نور.

❖ **الف) تعیین مشخصه پلاروئید.**

لیزر هلیوم– نئون را روی میزچه اپتیکی، و در مقابل آن پهن کننده پرتو نور و ســـپس دو عدد پلاریزور را در قواصـل حدود 10cm از یکدیگر به میزچه نصـب نمایید. در آخر آشـکار سـاز نور را قرار دهید به طوری که کلیه آنها در یک امتداد قرار گرفته و نور لیزر به نور سنج بر سند. حال هر دو قطب شگر را از م سیر نور بردارید و پهن کننده پرتو را طوری تنظیم کنید که قطر نور تابیده به نور ســنج حدود یک ســانتی متر شــود. شــکاف نور سنج را تا حدی ببندید که میلی ولتمتر آن عدد $100\mu V$ را ن شان دهد. توجه دا شته با شید که توان خروجی لیزر ثابت نمی‌ماند و کم و زیاد می‌شود. بنابراین مدتی صبر کنید و ترتیبی دهید که بزرگترین مقداری که میلی ولتمتر نشــان می‌دهد 100 باشــد. اکنون یکی از قطبشــگرها را در مســیر نور قرار داده و عدد میلی ولتمتر را بخوانید و با استفاده از رابطه:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{V}{V_0} = A$$
$$V_0 = 100\mu V$$

مقدار a را به دست آورید. مشخصه قطبشگر را به صورت HN-a بنویسید.

قطبشگر را به قطبشگر دوم تعویض کرده و مقدار a را برای آن نیز به دست آورید و یادداشت کنید.

- **ب) تحقیق قانون مالوس:**

هر دو قطبشگر را در مسیر نور قرار دهید و زاویه هر دوی آنها را روی صفر تنظیم کنید. عدد میلی ولتمتر را قرائت کنید. حال زاویه یکی از قطبشــگرها،θ، را 10 درجه 10 درجه تغییر داده و هر بار عدد میلی ولتمتر را قرائت و یاددا شت کنید. منحنی تغییرات $\frac{V}{V_0}$ بر ح سب θ تر سیم کنید. در همین مخت صات منحنی $\cos^2\theta$ را بر حسب θ رسم کرده و نمودارها را با یکدیگر مقایسه کنید.

- **آزمایش بلور دو شکستی:**

ابتدا دو پلاروید (پلاریزور و آنالیزور) را در حالتی قرار دهید که نور عبوری از آنها کمینه گردد. حال جســم دو شکستی را در بین پلاریزور و آنالیزور قرار دهید. می بینید که مقداری از نور از مجموعه عبور می‌کند. حال با

چرخاندن بلور دو شـکسـتی، محورهای عادّی و غیر عادّی را پیدا کنید. ما این دو محور را محورهای x و y می نامیم. (تذکّر: در تمام طول آزمایش فقط از یک محدوده‌ی مشخّص از نمونه استفاده کنید.)

زاویه ی پلاریزور را با محورهای x وy برابر 45 درجه قرار دهید. زاویه‌ی بین آنالیزور با محور x را α می‌نامیم. به علّت این‌که ضریب شکست بلور دو شکستی در دو محور x و y با هم فرق دارد، اختلاف فازی بین مؤلفه‌ی میدان در راستای x و y به وجود می آید.

$$\vec{E} = E_{o\,x}Sin(\omega t)\hat{i} + E_{oy}Sin(\omega t + \gamma)\hat{j}$$

که γ اختلاف فاز بین دو قطبش عادّی و غیر عادّی است که ناشی از اختلاف ضریب شکست، δn، بین این دو محور است.

$$\gamma = \frac{L\,\delta n}{\lambda}$$

که L ضخامت بلور دوشکستی و λ طول موج نور فرودی است.

از آنجا که شدّت نور عبوری از آنالیزور با مجذور دامنه‌ی مؤلفه میدان در آن راستا متناسب است، داریم:

$$I_\alpha = I_x Cos^2(\alpha) + I_y Sin^2(\alpha) + Sin(2\alpha)\sqrt{I_x\,I_y}\,Cos(\gamma)$$
$$\Rightarrow \left(I_\alpha - I_x Cos^2(\alpha) - I_y Sin^2(\alpha)\right) = Cos(\gamma)\left(Sin(2\alpha)\sqrt{I_x\,I_y}\right)$$

که $I_x = I_{(\alpha=0)}$ و $I_y = I_{\left(\alpha=\frac{\pi}{2}\right)}$

در محدوده‌ی بین صفر و 180 درجه، هر 10 درجه، I_α را بخوانید و آنرا در جدولی ثبت کنید.

به ازای هر زاویه ی α، می خواهیم نمودار قطبی دامنه‌ی میدان الکتریکی در آن را ستا را بک شیم. از آنجا که می‌دانیم دامنه‌ی میدان الکتریکی با جذر شـدّت متناسـب اسـت، در یک کاغذ، نمودار قطبی $\left(\sqrt{I_\alpha},\alpha\right)$ را بکشید. چرا به این قطبش، قطبش بیضوی می‌گویند؟

با کشـــیدن نمودار $\left(I_\alpha - I_x Cos^2(\alpha) - I_y Sin^2(\alpha)\right)$ بر حســـب $\left(Sin(2\alpha)\sqrt{I_x I_y}\right)$ در یک کاغذ میلی‌متری، مقدار اختلاف فاز بین دو قطبش را بدست آورید. اگر فرض کنیم که اختلاف ضریب شکست بسیار کم است به نوعی که، $|\gamma| \le \pi$، اختلاف ضریب شکست بین دو محور x و y چقدر است ؟

اگر در تیغه ای $\gamma = \pi$ باشـــد به آن تیغه ی نیم موج و اگر $\gamma = \frac{\pi}{2}$ باشـــد به آن تیغه ی ربع موج می گویند.

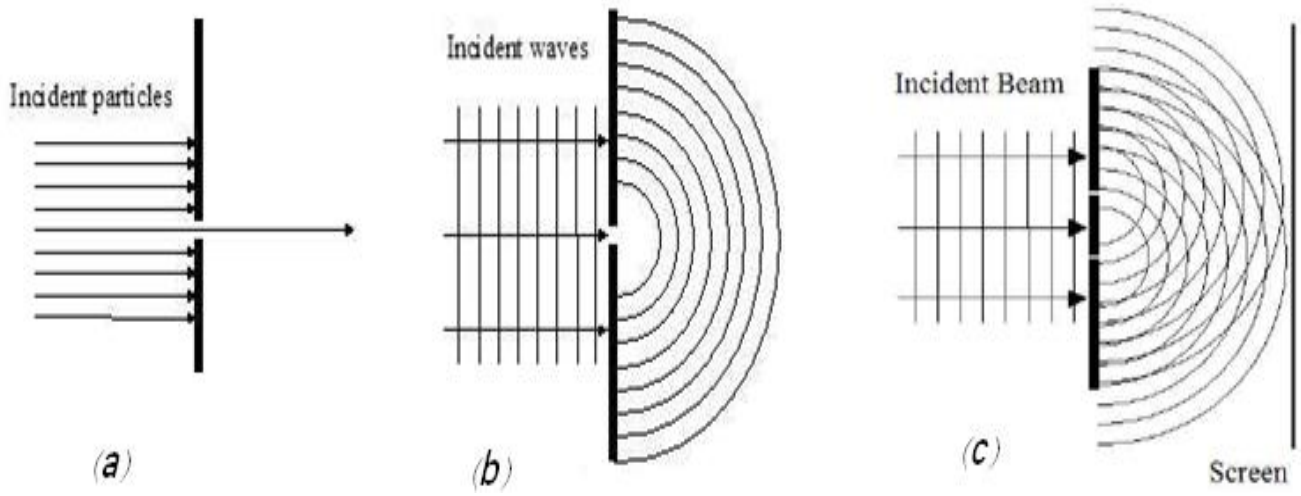
آزمایش5

پراش فرانهوفر

یکی از پدیده‌های سر شتی حرکت‌های موجی، پراش ا ست. پراش هنگامی م شاهده می شود که موجی به مانعی با ابعاد قابل مقایسه با طول موج برخورد کند. مانع ممکن ا ست به صورت روزنه یا شکاف با شد، که تنها بخش کوچکی از جبهه موج تابش را از خود عبور می‌دهد. همچنین ممکن است مانع جسمی کوچک مانند سیم یا قرص باشد که سد راه بخش کوچکی از جبهه موج می‌شود طبق اصل هویگنس هر نقطه از سطح موج را می‌توان به صورت مبدا موج جدیدی فرض کرد(شکل5-1-b).

پراش یکی از پدیده‌هایی می‌با شد که خا صیت موجی نور را بخوبی ن شان می‌دهد. همان طور که از شکل زیرآشکار است خاصیت ذره‌ای نور نمی‌تواند طرح نواحی تاریک و روشن پیچیده‌ای که روی پرده تشکیل می‌شود را تو ضیح دهد و طبق خا صیت ذره‌ای ؛ یک باریکه از ذرات پس از عبور از شکاف در همان را ستا بر روی پرده برخورد خواهند کرد و بر بقیه نقاط پرده هیچ اثری نخواهد داشت (شکل 5-1-a).در حالی‌که پراش نور از شکاف‌های کوچک، رفتاری متفاوت را نشان می‌دهد و در نقاط دیگر پرده، طرح تداخلی و نواحی روشن و تاریک مشاهده می‌شود-قسمتهای گوناگون جبهه موج که در پشت مانع انتشار می‌یابند با هم تداخل می‌کنند و توزیع شدت ویژه‌ای را به وجود می‌آورند که آن را نقش پراش می‌نامند(شکل5-1- c-1-5,b).

طرح ایجاد شده بر روی پرده، به شکل مانع و طول موج نور چشمه و فواصل آن‌ها بستگی دارد.



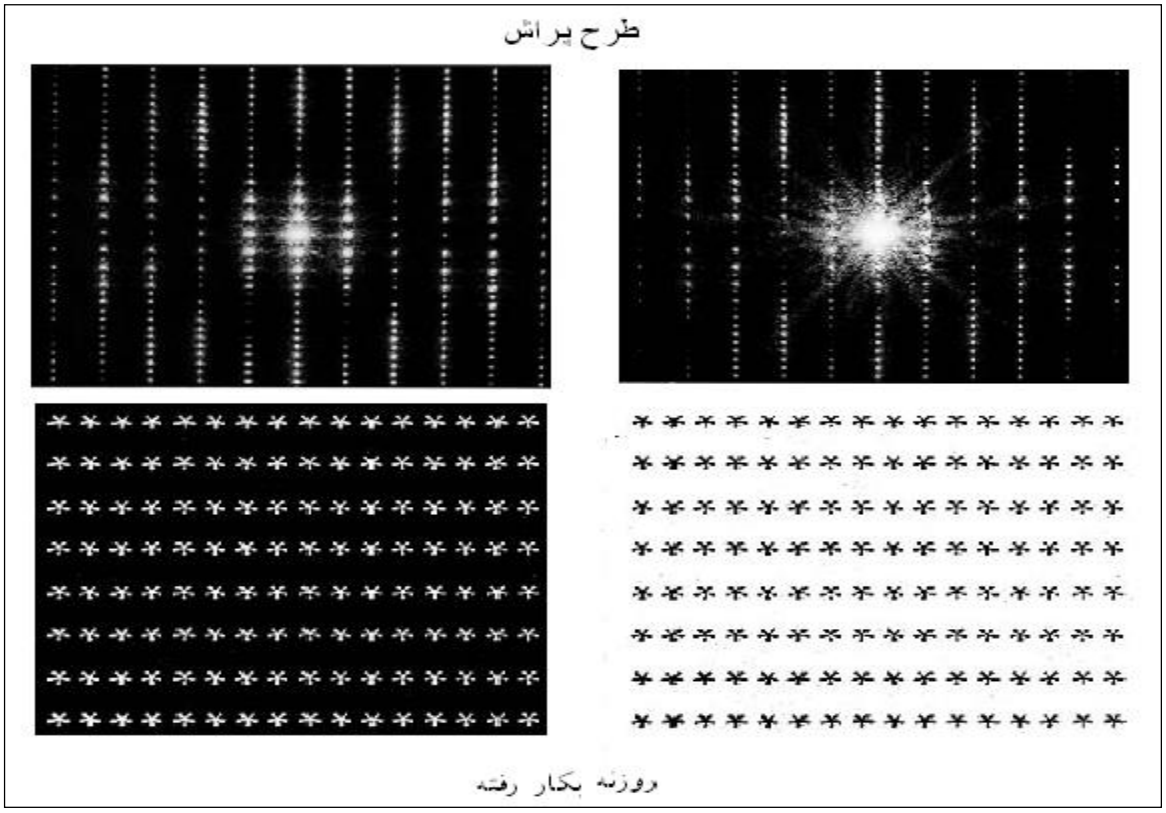
شکل 5- **1**

دو حالت ویژه پراش: پراش فرانهوفر و پراش فرنل

فرض کنید که یک مانع کدر حاوی یک روزنه کوچک داریم که امواج تخت حاصل از یک چشمه نقطه‌ای شکل خیلی دور (S)، آن را رو شن کرده ا ست. صفحه م شاهده، پرده‌ای ا ست موازی با مانع کدر، دورتر بودن صفحه م شاهده به آرامی باعث تغییر پیو سته در فریزها می شود. در فا صله خیلی دور از مانع نقش ت صویر شده بطور قابل ملاحظه‌ای پخش خواهد شد. بطوری که به روزنه واقعی بی شباهت ا ست از آنجا به بعد حرکت دادن پرده تنها اندازه نقش پراش را تغییر می‌دهد ولی شـــکل آن را بدون تغییر می گذارد. این پراش را فرانهوفر یا پراش میدان- دور می‌گویند.در پراش فرانهوفر نقش پراش را در فاصـــله خیلی دور مشـــاهده می‌کنیم به گونه‌ای که تنها پرتوهای پراش موازی را به طور موثر دریافت می‌کنیم. برای این کار یک عدســـی که پرتوهای پراش هم‌راستا را در یک نقطه متمرکز می‌کند نیز می‌توان استفاده کرد.

در پراش فرنل، منشـــأ پرتوهای تابش، یک چشـــمه نقطه‌ای اســـت، و یا پرتوهای پراش در نقطه معلومی از فضا(به فاصله محدودی از جسم پراشنده) مشاهده می‌شوند و یا هر دو هم‌زمان وجود دارند.

جسم پرده‌ای (مسطح) پراشنده را مکمل می‌گویند اگر نواحی شفاف یکی بانواحی کدر دیگری متناظر باشد و یا بر عکس. به عنوان مثال یک روزنه دایره‌ای و یک جسم دایره‌ای مکمل یکدیگرند. با استفاده از اصلی موسوم به اصل بابینه نشان داده می‌شود که نقش‌های پراش حاصل از دو جسم پرده‌ای پراشنده مکمل، مانند هم است ولی در نقاط متناظر در دو نقش پراش اختلاف فاز 180° وجود دارد. (شکل 5-2). با دقت در شکل5-2، توضیح دهید که چرا ناحیه مرکزی برای هر دو روزنه مکمل بکار رفته، روشن است؟ آیا این مطلب با اصل بابینه مخالف است؟



شکل 5- 2

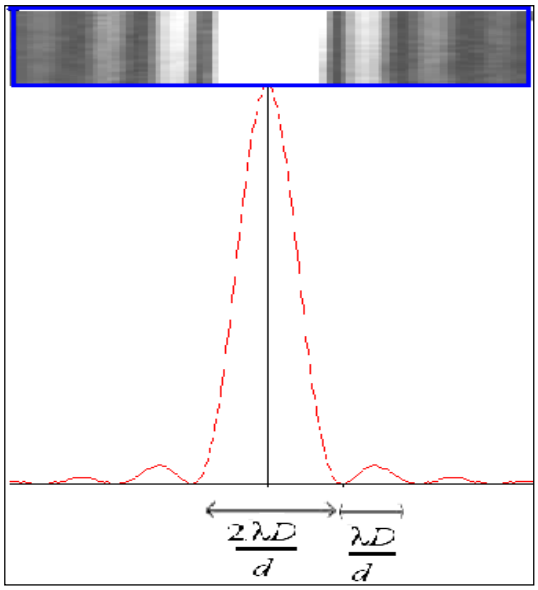
اگر دو نقش پراش حاصل از دو جسم پرده‌ای پراشنده مکمل هم‌زمان وجود داشته باشند به دلیل وجود اختلاف فاز 180° پراش به طور کلی از بین می‌رود.

- **هدف آزمایش:**

بررسی پراش فرانهوفر به وسیله تک شکاف، دو شکاف، روزنه دایره‌ای، و موانع باریک

- **روش آزمایش:**
- **تک شکافی**

شـــکاف متغیر را روی میزاپتیکی ســـوار کنید. عرض شـــکاف را تا حد ممکن کوچک کنید. نور موازی لیزر هلیوم- نئون را روی شـــکاف فرود آورید و با تنظیم فاصـــله نور لیزر و شـــکاف نقش پراش را روی پرده ســـفید مشاهده کنید. برای این‌که پرده سفید و شکاف عملاً در بینهایت دور از یکدیگر باشند، یک عدسی همگرا پشت شکاف قرار دهید و پرده سفید را در صفحه کانونی عدسی بگذارید. روی پرده مشاهده می شود که پهنای فریز روشن مرکزی دو برابر پهنای فریزهای روشن دیگر است(شکل5-3).



شکل 5- 3

اگر فاصـــله فریز تاریک شـــماره m ام از مرکز نوارها را با a_m نشـــان دهیم با توجه به این‌که زاویه پراشθ کوچک است می‌توان نوشت:

$$\sin\theta = \frac{a_m}{f}$$

که در آن f فاصله کانونی عدسی همگرا، یعنی فاصله عدسی تا پرده سفید است. اثبات می شود که:

$$d = \frac{m\lambda f}{a_m} (1)$$

که در آن d پهنای شکاف و λ طول موج نور لیزر است. به کمک رابطه (1) پهنای دو شکاف را اندازه‌گیری کنید.

اگر عدسی مناسب در اختیار ندارید، می‌توانید فاصله تصویر تا شکاف را نسبتاً بزرگ انتخاب کنید. و برای تعیین پهنای شکاف از رابطه زیر استفاده کنید:

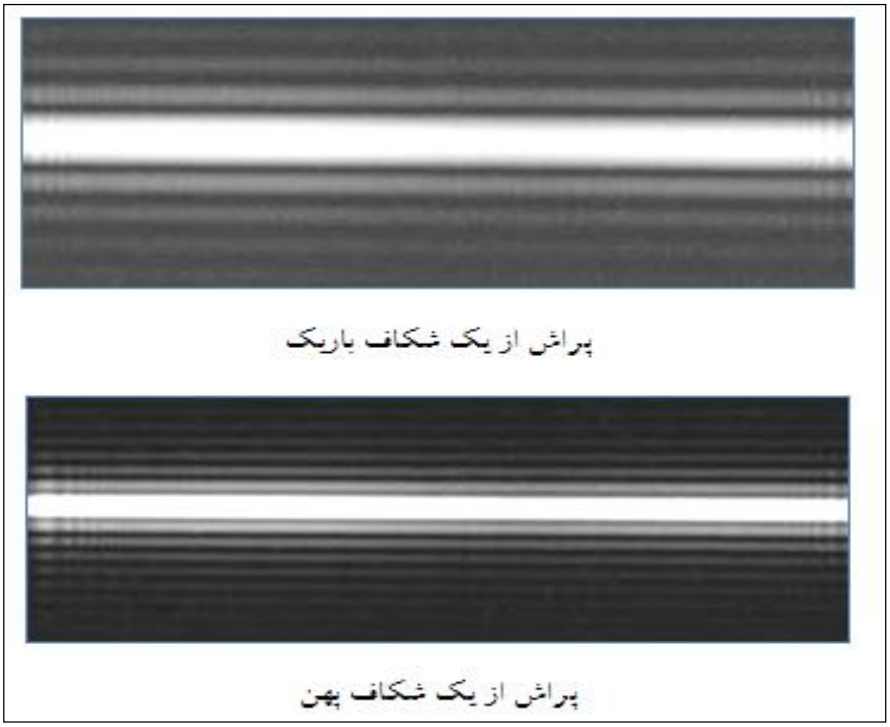
$$d = \frac{\lambda D}{i} (2)$$

که در آن D فاصله بین شکاف و پرده سفید و i فاصله دو نوار متوالی (تاریک و روشن) می‌باشد.

- **تک سیم**

با افزایش پهنای شکاف پهنای فریزهای روشن کاهش پیدا می‌کند (شکل 4). این پدیده را می‌توانید با تغییر پهنای شکاف به راحتی مشاهده کنید. دو سیم با قطرهای متفاوت در اختیار شما گذاشته شده است با مشاهده پراش مربوط به هر یک از آن‌ها شکل نوارهای پراش مربوط را در گزارش کار خود رسم کنید.

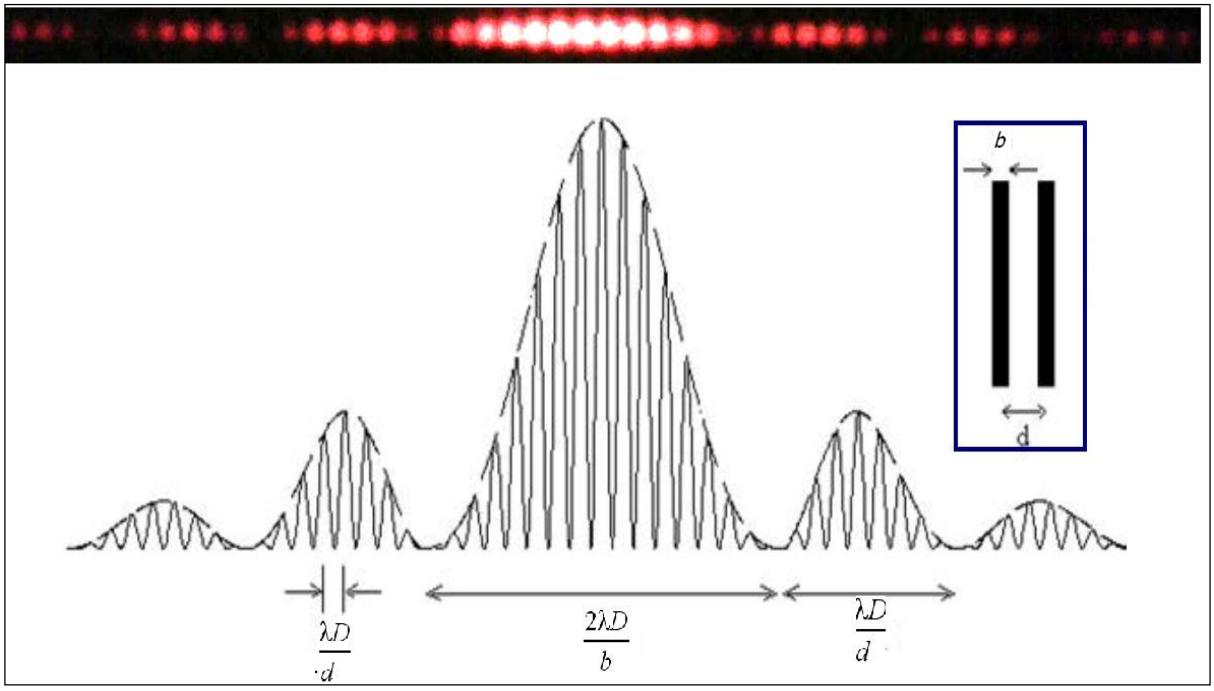
معادلات (1) و (2) در مورد پراش از سیم نازک نیز صادق است با این تفاوت که d نمایانگر قطر سیم است. با اندازه‌گیری فاصله فریز تاریک شماره m ام از مرکز نوارها، d,a_m را از رابطه (1) به دست آورید. اگر عدسی در دسترس نباشد با اندازه‌گیری فاصله دو نوار متوالی، قطر سیم را از رابطه (2) تعیین کنید.



شکل 5- 4

- **دو شکافی**

دو شکافی را در محل مناسب قرار دهید و شکل نوارهای حاصل از پراش را درگزارش کار خود رسم کنید. دقت کنبد نور از هردو شکاف عبورکند. طرح حاصل از پراش دو شکافی به صورت زیر می باشد. همان طور که دیده می‌شود در داخل فریزهای اصلی،تعدادی اندرفریز مشاهده می‌شود. درصورتی‌که فاصله پرده تا چشمه D و پهنای هرشکاف b و فاصله شکاف‌ها از یکدیگر d باشد، پهنای فریز اصلی مرکزی، برابر با $\frac{2\lambda D}{b}$ یعنی دو برابر دیگر فریزهای اصلی خواهد بود.(شکل 5-5)



شکل 5- **5**

- **دو سیم موازی**

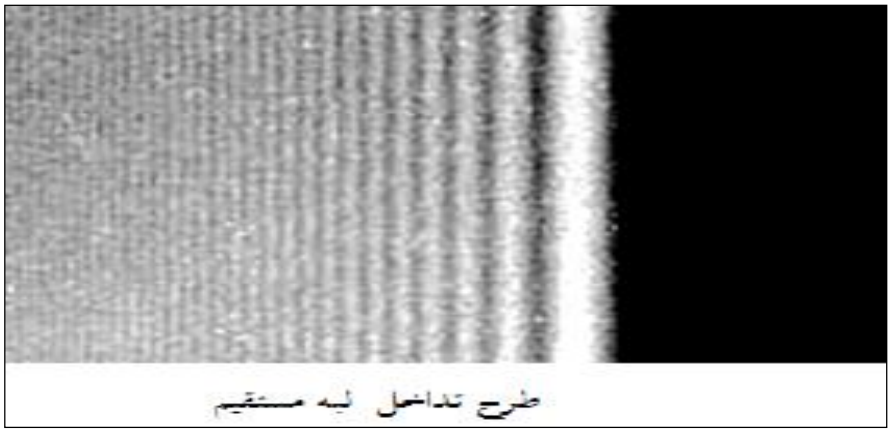
دو سیم موازی نازک را در محل مناسب قرار دهید و شکل نوارهای حاصل از پراش را در گزارش کار خود رسم کنید. همین کار را با دو سیم موازی ضخیم نیز انجام دهید. این دو نقش پراش را به هم مقایسه کنید چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

طبق اصل بابینه، نقش پراش حاصل از دو شکاف (که پهنای دو شکاف با قطر سیم‌ها و فاصله دو شکاف با فاصله سیم‌ها برابر است) همانند یکدیگر است و فقط اختلاف فاز 180 درجه بین تصویر پراش آنها وجود دارد.

- **لبه مستقیم**

لبه مستقیم را در محل آن قرار داده و به وسیله تنظیم آن پدیده پراش را روی پرده به وجود آورید.

ملاحظه می‌کنید که علاوه بر پراش در ناحیه تابش نور، در قسمت سایه هندسی نیز نوارهای پراش مشاهده می‌شوند. به طور کلی نشان داده شده است که شدت نور در منطقه سایه هندسی در حدود $\frac{1}{4}$ قسمت روشن است(شکل 5-6)شکل نوارهای پراش را در گزارش کار خود ترسیم کنید.



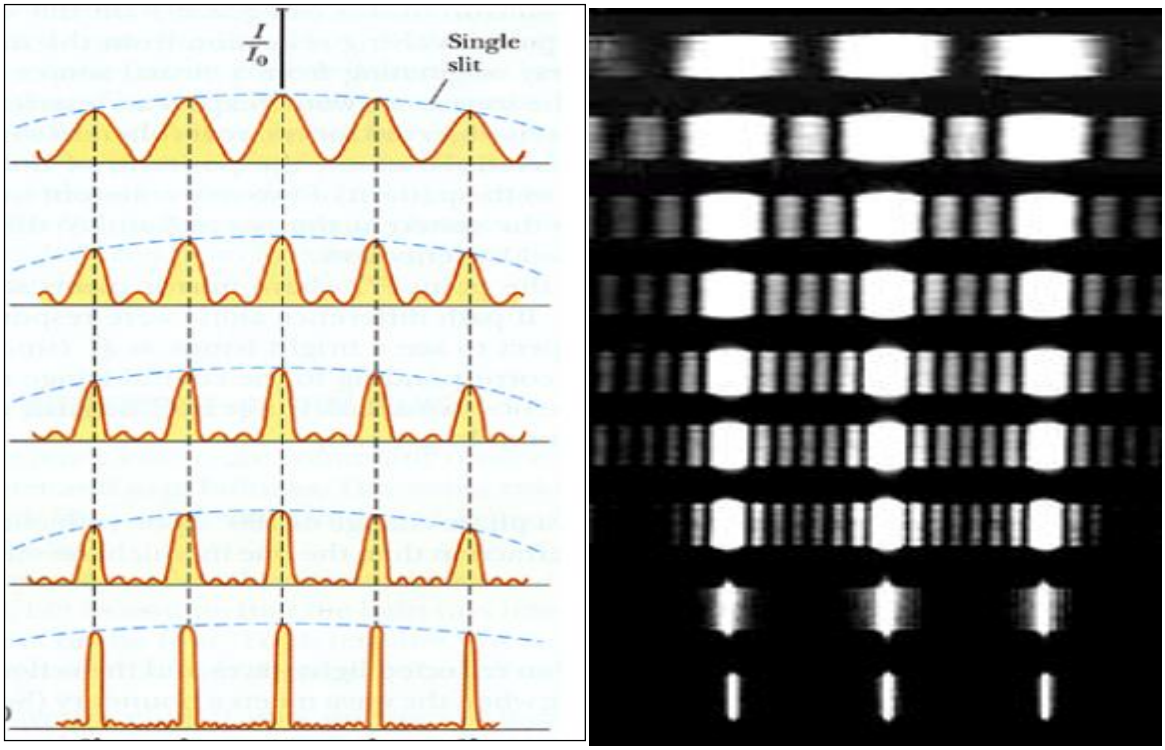
شکل 5- 6

پراش از شبکه توری

دو شبکه توری با ضخامت‌های مختلف در اختیار شماست. هر کدام از آن‌ها را درجای مناسب قرار داده و شکل نوارهای پراش را در گزارش کار خود رسم کنید. در شکل 5-7 رابطه تعداد شکاف با طرح پراش حاصل نشان داده شده است. با اندازه‌گیری فاصله دو نوار متوالی (روشن یا تاریک) در هر یک از الگوهای پراش و با به کار بردن رابطه:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{i_2}{i_1}$$

نسبت فاصله شبکه‌های توری را تعیین کنید.



شکل 5- 7: طرح پراش از بالابه پایین مربوط به طرح های تک شکاف، دو شکاف، سه شکاف و....می باشد. طرح آخر الگوی پراش توری (تعداد شکاف زیاد) می باشد

- **روزنه دایره ای شکل**

نقش پراش حاصل از یک روزنه دایره‌ای را روی پرده تشکیل دهید. برای این کار لازم نیست از عدسی استفاده کنید. فاصله پرده تا روزنه را نسبتا بزرگ انتخاب کنید. الگوی پراش به صورت یک دایره مرکزی روشن موسوم به قرص ایری و فریزهای روشن و تاریک هم مرکز با آن است.(شکل5-8)

شکل 5- **8**

برای سه دایره اول داریم:

$$r_1 = 0.61\frac{\lambda D}{d}, r_2 = 1.12\frac{\lambda D}{d}, r_3 = 1.62\frac{\lambda D}{d}$$

که در آنها r_1 و r_2 وr_3 شعاع سه دایره اول است و $2d$ قطر روزنه دایره‌ای می‌باشد. (d شعاع روزنه دایره‌ای ا ست) شعاع سه دایره‌ی اول را اندازه‌گیری کنید و ن سبت شعاع‌ها را به د ست آورید. با ا ستفاده از روابط بالا نسبت شعاع‌ها را محاسبه و با نسبت شعاع‌های اندازه‌گیری شده مقایسه کنید.

با استفاده از یکی از روابط بالا، شعاع روزنه دایره‌ای را تعیین کنید.

- **جسمی تک سوزنی**

جسم تک سوزنی را در محل مناسب قرار داده و نور لیزر را به نوک آن بتابانید. نوارهای پراش را درگزارش خود رسم کنید.

آزمایش 6 (قسمت اول)

آزمایش گوه هوا

- **هدف آزمایش:**

بررسی موجی بودن نور از طریق تداخل امواج.

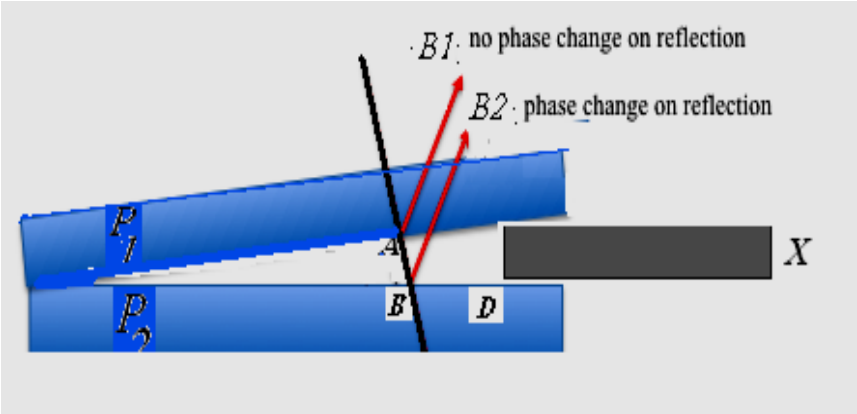
- **وسایل آزمایش:**

میکروسکوپ، لامپ سدیم، تیغه شیشه‌ای، دو تیغه اپتیکی.

- **تئوری آزمایش:**

فرض کنید مطابق شکل دو تیغه اپتیکی که با یکدیگر زاویه کوچک θ ساخته‌اند را در نظر می‌گیریم (در آزمایش ایجاد این زاویه را با گذاشتن کاغذ بین دو تیغه، ایجاد می‌کنیم). اگر یک پرتو تک رنگ از نقطه واقع بر چشمه گسترده بطور عمودی به دو تیغه اپتیکی بتابد بدیهی است که پرتوهای بازتابشی از سطوح تیغه ها ایجاد می‌شود و چون زاویه بین دو تیغه خیلی کوچک است لذا اختلاف راه پرتوهای بازتابشی نسبتا کم و تداخل آنها قابل رویت خواهد بود. طرح تداخلی واضح توسط تداخل پرتو بازتابی از سطح پایینی تیغه p1 و پرتو بازتابی از سطح بالایی تیغه p2 که در شکل زیر با B_1و B_2 نشان داده شده‌اند، ایجاد می‌شود.

سوال: توضیح دهید چرا پرتوهای بازتابی از دیگر سطوح طرح واضحی تشکیل نمی‌دهند؟



شکل 6 - 1 - **1**

پرتو بازتابی از سطح بالایی تیغهP2 بدلیل بازتاب از شیشه به هوا دارای اختلاف فاز π (معادل با اختلاف راه $\lambda/2$ می‌باشد، در حالی‌که در مورد پرتو بازتابی ازسطح پایینی تیغهP1 چنین اختلاف فازی برای مولفه عبوری از شیشه به هوا وجود ندارد.

عامل دیگر ایجاد اختلاف فاز بین پرتو های B_1و B_2 اختلاف راه 2AB ا ست. اگر AB=t فرض شود، با در نظرگرفتن اختلاف فاز π شرط تداخل سازنده و مخرب بصورت زیر خواهد بود

شرط وجود کمینه مرتبه mام:

$$2t = m\lambda, m = 0,1,2,3,...$$

شرط وجود بیشینه m ام:

$$2t = (2m-1)\frac{\lambda}{2}, m = 0,1,2,3,...$$

شرایط فوق برای کلیه نقاط در راستای تیغه که اختلاف راه آن‌ها در شرایط بالا صدق کند، برقرار می‌باشد، بنابراین در راستای تیغه یک سری نوار تداخلی تاریک و روشن مشاهده خواهد شد برای محاسبه ضخامت x با توجه به روابط بالا خواهیم داشت:

$$\theta = \tan\theta = \frac{t_2 - t_1}{BD} = \frac{(m_2 - m_1)\lambda}{2BD}$$

که در آن یک ورقه کاغذ به ضخامت x باعث بوجود آمدن زاویه θ شده ا ست همچنین با توجه به شکل می توان نوشت:

$$\tan\theta = \frac{x}{L} = \frac{t_2 - t_1}{BD} = \frac{M_2 - M_1}{2BD}\lambda \Rightarrow X = \frac{m_2 - m_1}{2BD}L\lambda$$

- **روش آزمایش:**

لامپ سدیم را روشن کنید تا گرم شود.

1- یک ورقه سیاه رنگ روی شیشه افقی میکروسکوپ قرار دهید.

2- دو تیغه اپتیکی را روی هم قرار داده و در یک انتهای آنها نوار کوچکی از کاغذ نازک مورد نظر را طوری قرار دهید که با فصل مشترک تیغه‌ها موازی قرار گیرد.

3- تیغه‌ها را روز ورقه سیاه رنگ قرار دهید.

4- تیغه شیشه‌ای را به کمک یک گیره چند منظوره به پایه V شکل ببندید و زاویه آن را با افق حدود 45 اختیار نمائید و ارتفاع نصب آن را طوری تنظیم کنید که بتوان در فاصله حدود 2 cm بالای تیغه‌های اپتیکی بین این تیغه‌ها و شیئی میکروسکوپ قرار داد.

5- لامپ سدیم و حفاظ آن را در روی میله نگهدارنده آن پائین ببرید بطوریکه پرتو لامپ پس از برخورد به تیغه شیشه‌ای به تیغه‌های اپتیکی تابیده و پرتوهای بازتابشی در امتداد قائم بطرف بالا بیایند. دراین حالت اگر از بالا به سطح نظاره کنید لامپ را بر روی تیغه‌های اپتیکی خواهد دید.

6- با استفاده از پیچ حرکت افقی میکروسکوپ لوله آن را در محل مورد نظر که نور لامپ به آن تابیده است بالای تیغه شیشه‌ای منتقل کنید و با بالا یا پائین بردن لوله میکروسکوپ نوارهای تداخلی را که موازی یکدیگر هستند مشاهده کنید.

7- پس از حصول نواهای تداخلی مطلوب اندازه گیری را شروع کنید.

8- تار چ شمی میکرو سکوپ را بر و سط یکی از نوارهای رو شن m_i (یا تاریک) منطبق نمائید و عدد پیچ میکرومتری افقی میکروسکوپ را قرائت نمائید.y_i

9- با پیچاندن پیچ میکرومتری فوق، لوله میکروســکوپ را بطور آرام و افقی جابجا کنید و ضــمن این کار تعداد نوارهای رو شن (یا تاریک) را که از زیر تار چ شمی عبور می‌نمایند (حداقل 20 نوار) شمارش نمائیدm_f. و مکان آخر نوار شمارش شده را یادداشت کنیدy_f.

10- با محاســبه Δm و Δy و با توجه به رابطه $\theta = \frac{\Delta m}{2\Delta y}\lambda$ و در نظر گرفتن طول موج $\lambda = 5893\,A^{\circ}$ زاویه بین تیغه‌های اپتیکی را محاسبه کنید.

11- فاصــله فصــل مشــترک تیغه‌های اپتیکی تا لبه داخلی نوار کاغذ را به کمک میکروســکوپ (با حرکت دادن آن توسط پیچ افقی) از روی خط کش ورنیه آن اندازه‌گیری کنید.(L)

12- با استفاده از رابطه $x = \frac{(\Delta m)L\lambda}{2\Delta y}$ ضخامت کاغذ را محاسبه نمائید.

13- با اندازه گیری‌های مجدد تعداد نوارها و فاصــله (موارد 10 و12) θ ها و x ها را پیدا کرده و در جدول زیر یادداشت نمائید و نهایتا از آنها میانگین بگیرید.

14- خطای آزمایش را با توجه به رابطه (بند 12) محاسبه کنید.

$$(\frac{\Delta x}{x})^2 = \frac{\Delta y^2 + \Delta {y_0}^2}{(y - y_0)^2} + (\frac{\Delta L}{L})^2$$

$$X = X_{\text{محاسبه شده}} \pm \Delta X$$

شماره آزمایش	m_i	m_f	y_i	y_m	Δm	Δy	θ	X
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								

19								
20								

♦ **سوالات:**

1-اگر دو تیغه دی الکتریک مثل تیغه های اپتیکی آزمایش مورد نظر را بطور موازی روی یکدیگر قرار دهیم، در مورد بازتابش پرتوهای آنها بحث کنید و شکل رسم کنید.

2-تداخل در آزمایش گوه هوا چه تداخلی است توضیح دهید.

3- پدیده تداخل در آزمایش گوه هوا به چه صورت می‌دهد؟ بارسم شکلی مناسب توضیح دهید.

4- رابطه $x = \frac{(m_2 - m_1)\lambda}{2BD}\lambda L$ را بدست آورید

5- اگر یک باریکه موازی نور بطول موج 500nm بطور عمودی بر گوه ضریب شکست 1/5 فرود آید فریزهایی مشاهده می‌شود. اگر فاصله این فریزها 1/3 cm باشد، زاویه گوه چه مقدار است؟

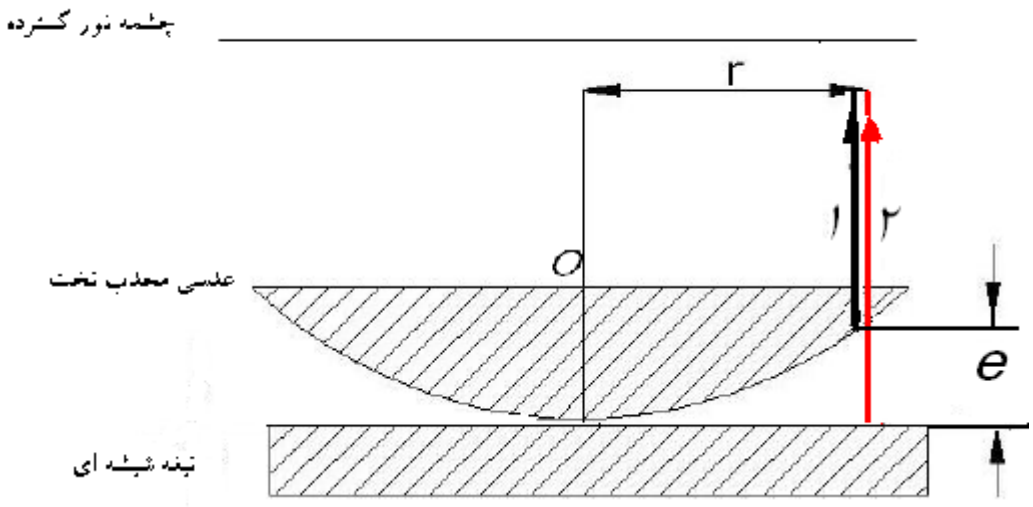
آزمایش6 (قسمت دوم)

حلقه‌های نیوتن

- **هدف آزمایش:**

بررسی موجی بودن نور از طریق تداخل امواج بازتابشی از دو سطح مسطح و کروی مربوط به یک چشمه گسترده و اندازه‌گیری شعاع انحناء سطح کروی.

هرگاه پرتوی تکفام از نقطه S (یکی از نقاط چشمه گسترده) به فضای بین یک سطح مسطح و یک سطح منحنی (مثلا کروی) بتابد،اختلاف فاز بین پرتوهای بازتابی، طرح تداخلی ایجاد می‌کند. در این آزمایش دستگاه بکار رفته برای ایجاد طرح تداخلی(حلقه های نیوتون)، از یک عدسی محدب و یک تیغه مسطح تشکیل شده است(شکل 6-2-1).در این مورد نیز مانند گوه هوا فریزهای تداخلی واضح توسط پرتوهای بازتابی از سطح پایینیِ عدسی محدب و سطح بالاییِ تیغه حاصل می‌شود که در شکل با پرتوهای 1و 2 نشان داده شده است. با توجه به شکل اختلاف فاز بین پرتوهای 1و 2 ناشی از دو عامل است. عامل اول اختلاف راه (2e) و عامل دیگر اختلاف فاز π(معادل با اختلاف راه $\frac{\lambda}{2}$) است که ناشی از بازتاب پرتو 1 از شیشه به هوا می‌باشد.



شکل 6 - 2 - **1**

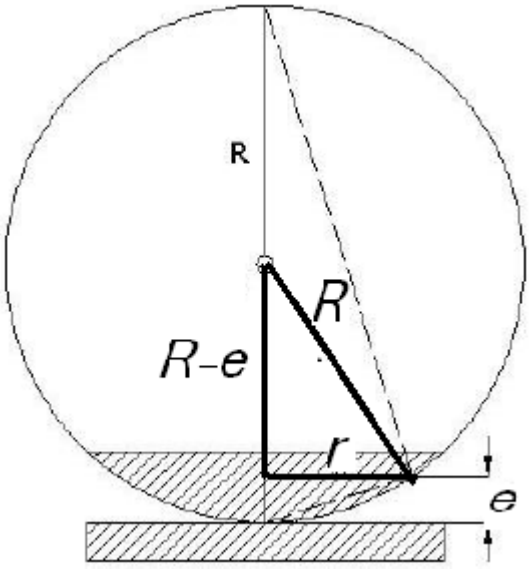
اگر سطح منحنی کروی کامل باشد، منحنی‌های تاریک و روشن، دوایر هم‌مرکزی خواهد بود که مرکز آن‌ها در نزدیک‌ترین فاصله سطوح مسطح و کروی (نقطه O در شکل(6-2-1)) قرار خواهد داشت.

با توجه به شکل 6-2-2 و رابطه فیثاغورث، رابطه زیر برقرار می‌باشد:

$$r^2 = e(2r - e) \qquad (1)$$

با صرفِ‌نظر از e^2 در مقایسه با بقیه جملات خواهیم داشت:

$$e = \frac{r^2}{2R} \qquad (2)$$



شکل 6 - 2 - 2

بنابراین با درنظر گرفتن اختلاف فاز π (ناشی از بازتاب از شیشه در مورد پرتو 2) بیشینه و کمینه‌های تداخل بصورت زیر تعیین خواهد شد:

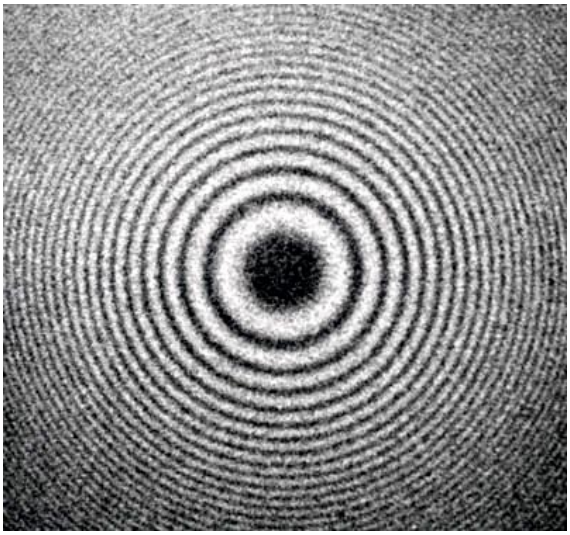
$$2e = 2m(\lambda/2)$$ شرط تداخل مخرب (3)

$$2e = (2m-1)(\lambda/2)$$ شرط تداخل سازنده (4)

و با توجه به رابطه 2، اختلاف راه برای تمام نقاطی که روی یک دایره موازی سطح تیغه قرار دارند مقدار ثابتی خواهد بود، از این رو فریزهای تداخلی ایجاد شده دایروی خواهند بود.

در صورتی‌که سطح تیغه در تماس با سطح عدسی محدب باشد و بین آن‌ها فاصله‌ای وجود نداشته باشد، فریز مرکزی که به ازای $e=0$ حاصل می‌شود،تاریک خواهد بود (بدلیل اختلاف فاز π ناشی از بازتاب از شیشه به

هوا در پرتو2). بنابراین یک سری فریز دایره‌ای هم مرکز که فریز مرکزی تاریک ا ست، در صفحه‌ای به موازات تیغه تشکیل خواهد شد. (شکل6-2-3)



شکل 6 - 2 - **3**

با توجه به روابط 1 و 3 خواهیم داشت:

$$\frac{r_m^{\,2}}{2R} = m\frac{\lambda}{2} \quad \Rightarrow \quad R = \frac{r_m^{\,2}}{2m\lambda} \qquad (5)$$

که در آن r_m شعاع حلقه m ام و R، شعاع انحنا سطحی است که عدسی از آن ساخته شده است.

$$R = \frac{r_m^{\,2}}{2m\lambda}$$

با توجه به معادله (5) و با داشتن طول موج λ و اندازه‌گیری شعاع نور m ام یعنی r_m می توان شعاعِ انحنایِ عدسی را به دست آورد.

- **روش آزمایش:**

1- لامپ سدیم را به منبع تغذیه متصل کرده و آن را روشن کنید تا گرم شود. گرم شدن لامپ حدود 5 دقیقه طول می‌کشد.

2- در روی شیشه افقی میکروسکوپ اندازه‌گیری یک ورقه کاغذ مشکی قرار دهید تا از تابش نور از شیشه مزبور جلوگیری شود.

3- دستگاه حلقه‌های نیوتن را روی ورقه کاغذ طوری قرار دهید که وسط عدسی دستگاه تقریبا در زیر لوله میکروسکوپ قرار گیرد.

4- میله تیغه شیشه‌ای را به میله سه پایه متصل کنید و آن را طوری تنظیم کنید که با افق زاویه تقریبا 45° بسازد تا بتواند نور لامپ را منعکس و به صورت عمودی به دستگاه حلقه‌های نیوتن بتاباند.

5- لوله میکروسکوپ را قائم کرده و فاصله لوله میکروسکوپ از دستگاه حلقه‌های نیوتن را در حدود 5cm تنظیم کنید و تیغه شیشه‌ای را مطابق شکل بین آن‌ها قرار دهید و محل لامپ و تیغه شیشه‌ای را طوری تنظیم کنید که اگر به طور عمودی بدون استفاده از میکروسکوپ از بالا به دستگاه حلقه‌های نیوتن نظاره کنید تصویر لامپ را در آن ببینید. بهترین وضعیت آن است که تصویر لامپ را وسط دستگاه حلقه‌های نیوتن مشاهده کنید. اگر همه این شرایط فراهم شود، بدون میکروسکوپ، جایی که تصویر لامپ وجود دارد می‌توان حلقه‌های کوچک و ریزی را مشاهده کرد که همان حلقه‌های نیوتن هستند.

6- با پیچاندن پیچ انتقال افقی، میکروسکوپ را به بالای دستگاه حلقه‌های نیوتن بیاورید. با بالا و پایین بردن آن، نوارهای تداخلی تاریک و روشن دایره‌ای شکلی ظاهر خواهند شد. با انتقال لوله میکروسکوپ و یا دستگاه حلقه‌های نیوتن، مرکز حلقه‌ها را بر مرکز میکروسکوپ منتقل کنید. به طوری که محل تقاطع تارهای چشمی میکروسکوپ بر مرکز نوارها منطبق شود.

7- با پیچاندن پیچ میکرومتری افقی میکرو سکوپ، مرکز تارهای چشمی را بر وسط نوار بیستم، بالا و یا پایین مرکز نوارها، که همانند نوار مرکزی است (اگر نوار مرکزی روشن است، روشن و اگر تاریک است، تاریک) منطبق کنید و عدد میکرومتر را به دقت بخوانید. حال به کمک پیچ میکرومتری افقی مرکز تارها را به طرف

مرکز نوارها حرکت دهید و بر و سط نوارهای با شماره 20 ,15، 10، 5، 0 منطبق کنید و هر بار عدد میکرومتر را بخوانید و یادداشت کنید. وقتی که به نوار صفرم رسیدید به حرکت میکروسکوپ ادامه دهید و محل نوارهای 0، 5، 10، 15، 20 را در طرف دیگر مرکز از روی میکرومتر یادداشت کنید. با داشتن اعداد یادداشت شده از روی میکرومتر جدول (1) را تکمیل کنید.

8- منحنی تغییرات r_m^2 را بر حسب m روی کاغذ میلی‌متری رسم کنید.

با توجه به معادله $r_m^2 = (2R\lambda)m$ منحنی تغییرات r_m^2 بر حسب m یک خط راست است.

با رسم خط، بهترین شیب آن $2R\lambda$ و از آن R را به دست آورید.

با رسم دو خط کوچک‌ترین شیب، خطای شیب را محاسبه کرده و با فرض آن‌که خطای مطلق λ صفر است ($\lambda\Delta=0$)، خطای نسبی آن، یعنی $\frac{\Delta R}{R}$ را تعیین کنید.

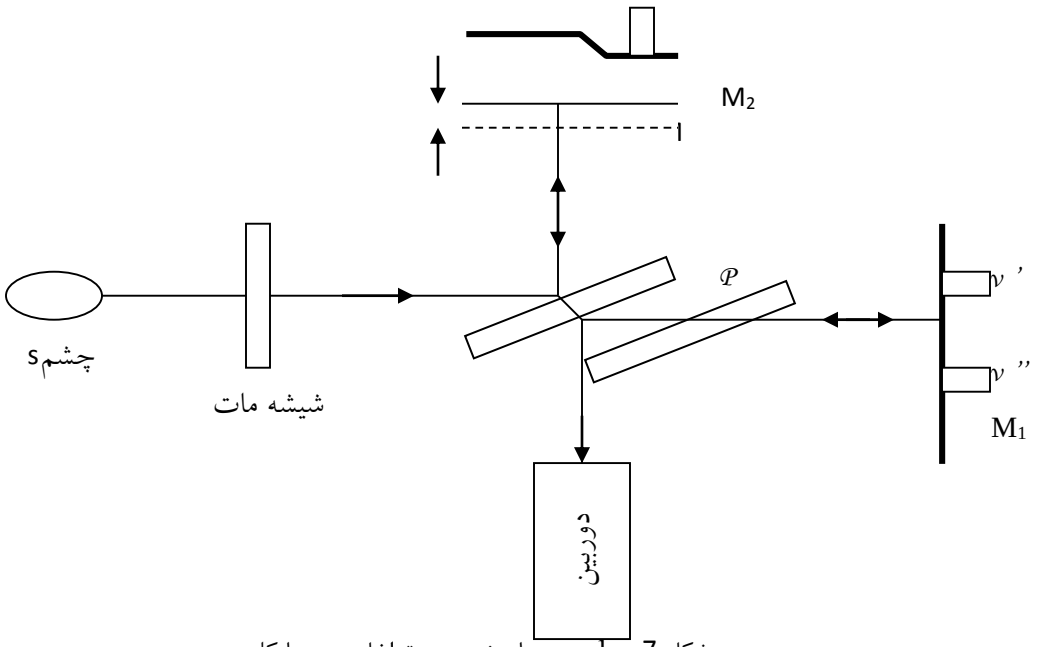
بالای مرکز نوارها		پایین مرکز نوارها		$r_m = \frac{\lvert l_{m'} - l_m \rvert}{2}$	r_m^2
m	l_m	m'	$l_{m'}$		
20		20			
15		15			
10		10			
5		5			
0		0			

آزمایش 7

تداخل سنج مایکلسون

تداخل سنج‌ها دستگاه‌هایی هستند که به وسیله آن‌ها با استفاده از پدیده تداخل می‌توان اندازه‌گیری دقیقی انجام داد. از جمله ضریب شکست گازها، اندازه‌گیری تغییرات بسیار کوچک طول، اندازه‌گیری طول موج، تشخیص ناصافی‌های سطح آینه، جسم شفاف و... با استفاده از این دستگاه‌ها امکان پذیر است.

شاید معروفترین و فراگیرترین وسیله سنجش تداخل، تداخل سنجی باشد که توسط مایکلسون در سال 1880 طراحی شد. مهمترین کاربرد تداخل‌سنج مایکلسون آزمایش مایکلسون-مورلی است که درستی فرضیه نسبیت خاص را اثبات می‌کند. طرح بنیادی آن در شکل (7-1) نموده شده است.



شکل 7 - 1: مسیرهای نوری در تداخل سنج مایکلسون

نوری که از منبع s گسیل می‌شود پس از عبور از یک شیشه مات به یک تیغه شیشه‌ای نیمه نقره اندود p می‌تابد که در نتیجه پرتو را به دو بخش تقسیم می کند، (پرتوی فرودی تحت زاویه 45° به تیغه p تابیده می شود) قسمتی به آینه M_2 که عمود بر پرتوها قرار داده شده می‌تابد و بازتاب آن پس از عبور از تیغه p به چشم می‌رسد و قسمت دیگر به آینهM_1 تابیده و بازتاب آن انعکاس روی سطح AB تیغه P به چشم می‌رسد. چون اختلاف راه میان این دو پرتو وجود دارد، از تداخل آن‌ها یک سری فریزهای خطی یا دایروی ایجاد می شود. اگر تصویر M_1' آینه M_1 را نسبت به سطح AB در نظر بگیریم، مثل این است که این دو دسته پرتو فریزهای مربوط به یک لایه هوا بین M_2 و M_1' را تشکیل می‌دهند. اگر M_1' و M_2 کاملا با هم موازی باشند تیغه موازی هوا بین آن‌هاست. و فریزهای دایروی تشکیل می‌شود و اگر موازی نباشند. فریزهای خطی گوه هوا ایجاد می‌شود. تیغه P_1 که کاملا مشابه با P است (ولی نقره اندود نشده است) برای جبران اختلاف راه نوری سر راه آینه M_1 قرار داده شده زیرا پرتوهای مربوط به M_1 فقط یکبار از P می‌گذرند در حالی که پرتوهای مربوط به M_2 سه بار از آن عبور می‌کنند. در پشت آینه M_2 اهرمی قرار دارد که آن را عمود بر سطح خود جابجا می‌کند و به کمک آن می‌توان اختلاف راه میان دو پرتو را تغییر داد. دسته اهرم به میکرومتری متصل است که توسط آن می‌توان اختلاف راه میان دو پرتو را تغییر داد. دسته اهرم به میکرومتری متصل است که توسط آن می‌توان تغییر اختلاف راه نوری را اندازه‌گیری کرد. بازوهای اهرم به گونه‌ای است که $\frac{1}{5}$ جابه‌جایی دسته به آینه منتقل می‌شود. چون دقت میکرومتر $\frac{1}{100}mm$ است بنابراین می توان آینه را با دقت $\frac{1}{5}\times\frac{1}{100}=0.002mm$ جابه‌جا کرد.

اگر نور به طور عمودی روی دو آینه فرود آید، اختلاف راه نوری بین دو پرتو مربوط به آینه‌های M_1 و M_2 چنین است:

$$S=2d \quad (1)$$

رابطه بالا نشـان می‌دهد که اگر یکی از آینه‌ها به اندازه d_1 جابه‌جا شـود، اختلاف راه نوری به اندازه $2d_1$ تغییر می‌کند. باید توجه داشت که رابطه (1) تنها برای حالتی صادق است که دو آینه M_1 و M_2 بر هم عمود باشند یعنی فریزهای دایروی تشکیل شوند.

- **هدف آزمایش:**

مدرج کردن تداخل سنج و اندازه‌گیری طول موج منبع مجهول

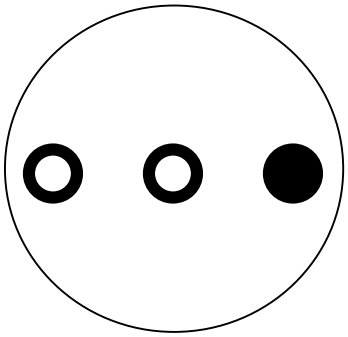
- **وسایل آزمایش:**

دستگاه تداخل سنج مایکلسون، چراغ سدیم، چراغ جیوه، فیلتر سبز

- **روش آزمایش:**

لامپ سدیم (یا لامپ جیوه همراه با فیلتر سبز) را منبع تغذیه آن متصل کرده و آن را روشن کنید تا گرم شود. گرم شدن لامپ معمولا 5 دقیقه طول می‌کشد. شیشه مات جلو تیغه تقسیم کننده را بردارید و یک کاغذ کوچک را که سوراخ ریزی در آن ایجاد شده است جلو محفظه لامپ سدیم قرار دهید. لامپ را به فاصله حدود یک متر از تداخل سنج قرار دهید، (هر چه این فاصله را بیشتر اختیار کنید ایجاد نوارهای تداخلی آسانتر خواهد شد)

دوربین را از جلو دستگاه بردارید و از محل آن با چشم در امتداد عمود بر تابش نور به آینه M_2 نگاه کنید به طوری که سه تصویر از سوراخ روشن را در آینه ببینید. شکل7-2



شکل 7 - 2

تصویری که پر رنگ‌تر از همه است مربوط به آینه M_1 می‌باشد و با پیچاندن پیچ های ν'' وν' حرکت می کند. تصاویر شماره 2 و 3 مربوط به آینه M_2 است چون نور از روی سطح CD و قسمت دیگر از روی سطح AB تیغه P منعکس شده و به آینه M_2 برخورد می کند.

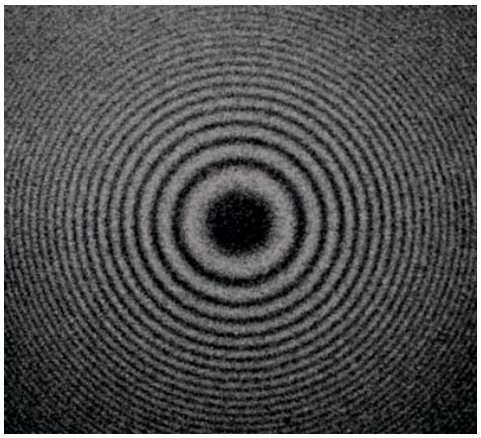
پیچ های ν'' وν' را تغییر دهید تا تصویر 1 روی تصویر 2 منطبق شود (یعنی دو تصویر سمت راست بر یکدیگر منطبق شوند).

وقتی که دو تصویر فوق کاملا بر یکدیگر منطبق شدند ورقه کاغذ را از مقابل لامپ برداشته و شیشه مات را در جای اولیه‌اش قرار دهید. سپس لامپ را به فاصله چند سانتی‌متری شیشه مات منتقل کنید. در این حالت فریزهای خطی ریزی که مربوط به گوه هوا است و ممکن است کاملا وضوح نداشته باشند، مشاهده خواهد شد. با تنظیم جزیی و آرام پیچ‌های آینه M_1 (ν'' وν') فریزها را پهن‌تر کرده و بالاخره به دایره تبدیل کنید. در این حالت M_1 کاملا بر M_2 عمود است. این فریزهای دایره‌ای در بی‌نهایت جایگزین شده‌اند و بنابراین برای بهتر مشاهده کردن آن‌ها می‌توانید از یک دوربین که کاملا در بی‌نهایت میزان شده است، استفاده کنید. دوربین را به آرامی در محل مربوطه نصب نموده و پیچ آن را محکم کنید.

اکنون میکرومتر متصل به اهرمν آینه M_2 را بپیچانید. ملاحظه می‌کنید که وقتی اختلاف راه کم می‌شود فریزها در مرکز فرو می‌روند و نیز رفته رفته درشت‌تر می‌شوند و بر عکس وقتی اختلاف راه را زیاد می‌کنید فریزهای جدید در مرکز متولد می‌شوند.

- **الف: مدرج کردن تداخل سنج:**

پس از آن‌که نوارهای تداخلی واضحی حاصل شد عدد میکرومتر را بخوانید. ضمن مشاهده در دوربین پیچ میکرومتری را به آهستگی در جهتی که نوارهای تداخلی از مرکز تولید شوند بچرخانید و این کار را آن‌قدر ادامه دهید که 10 نوار از مرکز تولید شود M=10 و عدد میکرومتر را قرائت کنید. این عمل را برای 10 نوار بعدی تا 190 نوار ادامه داده و هر بار عدد میکرومتر را بخوانید. نتایج اندازه‌گیری را در جدولی مطابق جدول زیر درج کنید که در آن d' اعداد میکرومتر و m ها شماره نوارهای شمارش شده می‌باشد.



شکل 7 - 3: طرح تداخل حاصل در تداخل سنج مایکلسون

m_1	d_1'	M_2	d_2'	$\Delta m = m_2 - m_1$	$\Delta d' = d'_2 - d'_1$
0		100		100	
10		110		100	
20		120		100	
30		130		100	
40		140		100	
50		150		100	
60		160		100	
70		170		100	
80		180		100	
90		190		100	

اگر طول موج نور تک رنگ λ به کار رفته باشد داریم:

$$2d_1 = m_1\lambda$$
$$2d_2 = m_2\lambda$$
$$\Rightarrow 2(d_2 - d_1) = (m_2 - m_1)\lambda \Rightarrow \Delta d = \lambda\frac{\Delta m}{2}$$

که Δd میزان جابه‌جایی آینه‌ها به ازای 100 نوار تداخلی و معادل 50λ می‌باشـد. با توجه به این‌که برای انتقال آینه‌ها به اندازه 50λ میکرومتر به طور متوسط به اندازه $\overline{\Delta d'}$ جابه‌جا شده است می‌توان رابطه تغییرات یک میلی‌متر از پیچ میکرومتری را بر حسب جابه‌جایی آینه‌ها از فرمول زیر به دست آورد.

تغییر مکان

تغیر پیچ میکرومتری

آینه

$\Delta d'$ 50λ

$$\alpha = \frac{50\lambda}{\Delta d'}$$

بدین ترتیب تداخل‌سـنج مدرج می‌گردد و معلوم می‌شـود که هر میلی‌متر جابه‌جایی میکرومتر، به اندازه $\alpha = \frac{50\lambda}{\Delta d'}$ آینه‌ها را جابه‌جا می‌کند. خطای مطلق و نسبی a را به دست آورید.

- **ب) اندازه‌گیری طول موج منبع مجهول:**

منبعی که طول موج آن مجهول است را روشن کرده تا گرم شود. فریزهای دایروی را تشکیل دهید. همان طور که می‌دانید پیدایش یا فرو رفتن هر فریز در مرکز مبین این اسـت که اختلاف راه بین دو پرتو به اندازهλ تغییر کرده یا قطر تیغه هوا به مقدار$\lambda/2$ افزایش و یا کاهش یافته است.

عدد میکرومتر(d''_1) را قرائت کنید و سـپس ضـمن مشـاهده فریزهای دایره‌ای از طریق دوربین، پیچ میکرومتر را به آرامی بچرخانید و تعداد حداقل $\Delta m=50$ نوار تولید شـده از مرکز و یا محو شـده در مرکز را شمارش نمائید و مجددا عدد میکرومتر را قرائت کنید(d''_2).

از تفاضل دو مقدار فوق میزان تغییر میکرومتر به ازای$\Delta \acute{m}$ نوار حاصل را به دست آورید. در نتیجه داریم:

Δd=جابجایی آینه ها$=(d''_2-d''_1)a$

$$2\Delta d = 2(d''_2 - d''_1)a = \lambda' \Delta m'$$
$$\Rightarrow \lambda' = \frac{2(d''_2 - d''_1)}{\Delta m'}$$

در نتیجه می‌توان طول موج مجهول را به دست آورد.

طول موجλ'،خطای مطلق و نسبی آن را تعیین کنید.

- **ج) اندازه‌گیری ضریب شکست هوا:**

برای این قسمت محفظه‌ی هوا را در جای خود (در تداخل سنج مایکلسون) قرار دهید. پمپ و دریچه را با یک لوله‌ی لاستیکی به یکی از ورودی‌های محفظه‌ی هوا متّصل کنید. فشار سنج را به یکی دیگر از ورودی‌های محفظه متّصل نمایید و ورودی دیگر را با بستن یک لوله مسدود کنید.

حال تمام چشمی‌های متّصل به تداخل سنج مایکلسون را از آن جدا کنید. لیزر هلیوم-نئون را در مقابل ورودی قرار داده و با عدسی آن‌را باز نمایید. با فاصله‌ای در خروجی، یک پرده (مثلا یک کاغذ سفید) قرار داده و طرح تداخلی را روی این پرده ببینید.

تذکّر: به هیچ وجه به اشعه لیزر، حتّی وقتی در عدسی باز شده است نگاه نکنید و آن‌را به سوی کسی نیندازید.

طوری آینه‌ها را تنظیم کنید که مرکز طرح تداخلی تقریبا در وسط لکه نورانی ناشی از لیزر واقع شود.

حال اگر با پمپ فشـــار داخل محفظه هوا را تغییر دهید، تعدادی طرح تداخلی ایجاد می‌گردد (و یا از بین می‌رود که بوجود آمدن و یا از بین رفتن به بازویی که محفظه در آن قرار دارد بســتگی دارد.) که به خاطر تغییر راه نوری ناشی از تغییر ضریب شکست هوا است.

$$2L\delta n = m\lambda$$

که در این رابطه δn تغییر ضریب شکست هوا، L طول محفظه‌ی هوا، λ طول موج لیزر و m تعداد فریزهای بوجود آمده (و یا از بین رفته) است. با شمردن تعداد فریزهای ایجاد شده (و یا از بین رفته) بر حسب اختلاف فشار محفظه و هوای اتاق، نتایج را در جدولی وارد کنید. (واحد فشارسنج میلی‌متر جیوه است.)

نمودار تغییر ضریب شکست هوا، δn، برحسب اختلاف فشار محفظه و هوای اتاق را در نموداری بکشید و شیب خط حاصل را بدست آورید.

اگر این رابطه‌ی خطّی بین ضریب شکست هوا و فشار محفظه در فشارهای کمتر از یک اتمسفر (760 میلیمتر جیوه) برقرار باشد، و بدانیم، ضریب شکست خلاء با فشار صفر برابر یک است، ضریب شکست هوا در فشار یک اتمسفر چقدر خواهد بود؟

آزمایش 8

اندازه‌گیری زاویه بروستر و تحقیق درستی روابط فرنل

قسمت اول:

نور به وسیله بازتاب هنگامی کاملاً قطبیده می شود که تحت زاویه‌ای که تانژانت آن مساوی ضریب شکست محیط بازتاب دهنده باشد، از هوا به آن محیط بتابد.این زاویه تابش را زاویه قطبش یا زاویه بروستر می‌گویند.

تمام اجسام می‌توانند نور را به وسیله بازتاب، کم و بیش قطبیده کنند و قانون بروستر در مورد آن‌ها صادق است. هر گاه زاویه تابش طوری باشد که مجموع زوایای تابش و شکست 90 درجه شود، نور بازتابیده قطبیده خطی است و می‌توان آن‌را با یک قطبشگر خاموش کرد. در این حالت داریم:

$$n = \frac{\sin i_B}{\sin r} = \frac{\sin i_B}{\cos i_B} = \tan i_B$$

که در آن i_B زاویه بروستر و r_B زاویه شکست در نیم‌استوانه است.

- **هدف آزمایش:** تعیین ضریب شکست یک دی‌الکتریک با اندازه‌گیری زاویه بروستر
- **وسایل آزمایش:** میزچه مدرج، نیم‌استوانه (به عنوان جسم دی الکتریک) ، لیزر هلیم – نئون، قطبشگر (پلاروید)

تذکر مهم: در هیچ یک از مراحل آزمایش برای دیدن خروجی مستقیماً به نور لیزر نگاه نکنید .برای م شاهده خروجی، جلوی نور لیزر یک کاغذ قرار دهید.

- **روش آزمایش**

نیم‌استوانه را روی میزچه قرار دهد به‌طوری که مرکز نیم‌استوانه بر مرکز میزچه منطبق باشد. نور لیزر را به سطح تخت نیم‌استوانه بتابانید.قسمتی از نور لیزر وارد نیم‌استوانه شده و شکست می-یابد و قسمت دیگر بازتاب می‌کند. سعی کنید نور لیزر با سطح میزچه برخورد خراشان نداشته باشد)چرا ؟ .(یک قطبشگر را در کنار میزچه و در مسیر نور خروجی قرار دهید. با قرار دادن یک کاغذ) یا دست (بعد از قطبشگر، خروجی را بر روی آن مشاهده کنید. با چرخاندن محور قطبشگر سعی کنید خروجی را حداقل کنید. حال زاویه تابش را با گرداندن میزچه تغییر دهید. هر بار دقت کنید که مرکز نیم‌استوانه بر مرکز میزچه منطبق بماند. مقدار زاویه تابش به ازایِ کمترین روشنایی ممکن بعد از قطبشگر، زاویه بروستر را می‌دهد. حال با داشتن زاویه بروستر ضریب شکست نیم‌استوانه را تعیین کنید.

قسمت دوم:

- **هدف آزمایش:** بررسی درستی ضرایب فرنل
- **وسایل آزمایش:**میزچه مدرج، نیم‌استوانه (به عنوان جسم دی‌الکتریک)، لیزر هلیم – نئون، دو عدد قطبشگر (پلاروید)

تئوری آزمایش:

برای مطالعه بازتابش و عبور نور از مرز دو محیط دی‌الکتریک، همواره نور را به دو قطبش درون صفحه تابش(قطبش p) و قطبش عمود بر صفحه تابش(قطبش S) تجزیه می‌کنند. با استفاده ضرایب فرنل می‌توان مقدار بازتابش یا عبور هر کدام از انواع قطبش‌ها را به دست آورد:

$$r_s = \frac{n_1 \cos\theta_1 - n_2 \cos\theta_2}{n_1 \cos\theta_1 - n_2 \cos\theta_2} = \frac{\sin(\theta_1 - \theta_2)}{\sin(\theta_1 + \theta_2)}$$

$$r_p = \frac{n_2 \cos\theta_1 - n_1 \cos\theta_2}{n_2 \cos\theta_1 - n_1 \cos\theta_2} = \frac{\tan(\theta_1 - \theta_2)}{\tan(\theta_1 + \theta_2)}$$

$$t_s = \frac{2n_1 \cos\theta_1}{n_1 \cos\theta_1 + n_2 \cos\theta_2} = \frac{2\cos\theta_1 \sin\theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2)}$$

$$t_p = \frac{2n_1 \cos\theta_1}{n_2 \cos\theta_1 + n_1 \cos\theta_2} = \frac{2\cos\theta_1 \sin\theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2)\cos(\theta_1 - \theta_2)}$$

کـه در آن θ_1 و θ_2 زوایـای تـابش و شکسـت هسـتند.بنـابراین در صـورتی کـه مـوج الکترومغناطیسـی ورودی در یک جهت دلخواه قطبیده باشد، پس از عبور یا بازتابش، جهت قطبش آن تغییر می‌کند.

- **روش آزمایش:**

تذکر: توجه کنید که برای حذف یک نور با قطبش خطی باید آنالیزور را عمود بر قطبش نور ورودی قرار داد.

در این قسمت همان چیدمانی که در آزمایش قبلی به کار بردید، استفاده می شود. ولی این بار در مقابل نور لیزر ورودی هم یک قطبشگر قرار دهید.اگر زاویه قطبشگری که در جلوی نور ورودی قرار گرفته (پلاریزور) با صفحه تابش، φ_1 باشد، قطبش نور بازتابی خطی خواهد بود.(چرا؟)

زاویه قطبش نور بازتابی با صفحه تابش را φ_2 می‌نامیم:

$$\begin{cases} \vec{E}' = E' \cos\varphi_2 \hat{p} + E' \sin\varphi_2 \hat{s} \\ \vec{E}_o = E_0 \cos\varphi_1 \hat{p} + E_0 \sin\varphi_1 \hat{s} \end{cases}$$

با توجه به این روابط، رابطه زیر بدست می‌آید *(این رابطه را بدست آورید؟):*

$$\tan\varphi_2 = \left(-\frac{r_s}{r_p}\right)\tan\varphi_1$$

اکنون:

الف) برای زوایای فرودی داده شده (θ_1) در جدول زیر، (θ_2) زاویه شکست را بدست آورید.

$(\theta_1)^\circ$	10	20	30	40	50	60	70	80
$(\theta_2)^\circ$								

جدول (1)

ب)همچنین برای زوایای $(\varphi_1 = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ)$ زیر زاویه φ_2 را هم بدست آورید.

$(\varphi_1)^o$	15	30	45	60	75	90
$(\varphi_2)^o$						
$\frac{r_s}{r_p}$						

جدول(2)

ج) با توجه به مقادیر جداول فوق، نمودار $(\sin\theta_1)$ بر حسب $(\sin\theta_2)$ را رسم کنید و ضریب شکست تیغه را به کمک رابطه اسنل-دکارت محاسبه نمایید.

د) مقدار $\frac{r_s}{r_p}$ را با توجه به $(\theta_1)^\circ$ و $(\theta_2)^\circ$ بد ست آمده در جدول 1 به صورت تئوری بد ست آورید و

نمودار $\frac{r_s}{r_p}$ را برحسب $(\theta_1)^\circ$ و $(\theta_2)^\circ$ رسم نمایید.

آزمایش9

آینه لوید

- **هدف:**

✓ مشاهده پدیده تداخل در آینه لوید

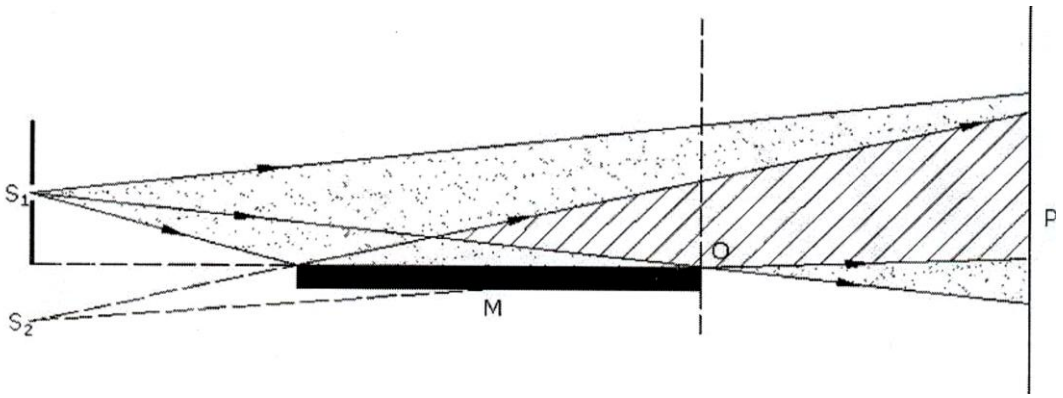
✓ اندازه‌گیری طول موج

- **وسایل آزمایش**

ریل اپتیکی- لامپ سدیم با ترانس مربوطه- شکاف متغیر- آینه لوید- میکروسکوپ دیجیتال- خط کش و ریزسنج- گیره

تئوری آزمایش

فریزهای تداخلی را می توان بوسیله یک آینه مسطح نیز بدست آورد. برای این منظور نقطه نورنی s را خیلی دور از آینه m و نزدیک به سطح آن مطابق شکل (9-1) قرار می‌دهیم بطوری‌که پرتوها با زاویه 90 درجه بر آینه بتابد.



شکل 9 - 1

پرتوهایی که از نقطهs می‌رسند با پرتوهایی که بوسیله آینه بازتاب می‌شوند در نقاطی مانند p تداخل کرده و در نتیجه فریزهای تداخلی ایجاد می‌گردد. در حقیقت مثل آن ا ست که پرتوها از دو چشمه هم‌زمان و نزدیک

به هم S و S’ خارج شده با شند (S’ ت صویر S در آینه ا ست) نکته مهم در این آزمایش آن ا ست که وقتی پرده متصل به انتهای آینه قرار می‌گیرد، لبه O سطح منعکس کننده در مرکز یک فریز تاریک واقع می‌شود حال آن‌که انتظار می‌رود این فرانژ روشن باشد، علت آن است که برای یکی از دو پرتو رسیده به O که ظاهرا باید هم‌فاز (بدون اختلاف راه) با شند به اندازه π اختلاف فاز بوجود می‌آید و چون پرتو م ستقیم OS بدون تغییر فاز به نقطه O می رسد پس از تغییر فاز در پرتو انعکاس رخ می‌دهد. این موضوع با توجه به مشاهدات تجربی چنین توجیه می شود که انعکاس نور سبب تغییر فاز π در نور منعکس شده می‌گردد. به علت این تغییر فاز ا ست که در محلی که انتظار روشنی می‌رود تاریکی بوجود می‌آید. بنابراین برای فریزهای روشن اختلاف راه نوری $\Delta + \frac{\lambda}{2}$ ا ست که Δ اختلاف راه نوری بین دو پرتو می‌با شد و از آنجا فا صله فریز رو شن m از نوار مرکزی که در اینجا فریز تاریک است (لبه آینه) خواهد شد.

$$X_{\circ} = (k + \frac{1}{2})\frac{\lambda D}{d}$$

و فاصله هر دو فریز متوالی برابر است با

$$i = \frac{\lambda D}{d} \quad (1)$$

♦ روش آزمایش

شکاف متغیر و آینه لوید را هر کدام در یک انتهای میز سوار کرده و آینه را طوری تنظیم کنید که از روبروی چشمه S و موازی با آن ببینید. در این هنگام فریزها با چشم به خوبی تشخیص داده می‌شوند. در حالی‌که با چراغ رومیزی لبه آینه (نقطه O) را کاملا روش کرده‌اید میکروسکوپ را به لبه نزدیک نموده و آن‌را طوری تنظیم کنید که لبه آینه بوضوح در آن دیده شود. در این حال رتیکول را روی لبه آینه منطبق نمایید. چراغ رومیزی را خاموش کنید، فریزهای تداخلی بوضوع در یک سمت آینه دیده خواهد شد.

الف) در آزمایش لوید، در نقطه تماس پرده و آینه، پرتوهایی که به هم می‌رسند، چون از چشمه‌های همدوس هستند و مسیر مساوی طی می‌کنند، اختلاف راه نخواهند دا شت. لذا باهم هم‌فاز خواهند بود. در این شرایط بایستی تداخل سازنده و نوار رو شن دا شته با شیم؛ ولی بر خلاف انتظار، این نقطه تاریک دیده می شود. علت این امر اختلاف فاز نا شی از بازتاب از شیشه به هوا می‌با شد. تحقیق کنید که فریزی که در لبه O تشکیل

می شود تاریک ا ست و با اندازه‌گیری فا صله مرکز فریز تاریک و مرکز فریز روش بعدی آن تحقیق کنید که این اختلاف برابر $\frac{i}{2}$ است.

ب) فاصله میانگین فریزها را بدست آورید.

ج) فاصله شکاف s را تا عدسی شیئی دقیقا اندازه بگیرید و از این مقدار ε یعنی فاصله دید واضح میکروسکوپ را کم کنید، D بدست می‌آید. با معلوم بودن طول موج نور به کار رفته λ فاصله d بین دو شکاف S_1 و S_2 را ح ساب کنید. حال نوری را که طول موج آن را نمی‌دانید به کار ببرید و با اندازه‌گیری فا صله فریزها و نیز دانستن D و d طول موج را حساب کنید.

سئوال:

ثابت کنید که انعکاس نور از سطح یک دی الکتریک در شرایطی که($n_2<n_1$)باشد،ایجاد اختلاف فاز π می‌نماید. این اختلاف را چگونه می‌توان تجربه کرد؟

آزمایش 10

دو آینه فرنل

- **هدف آزمایش**

1- مشاهده پدیده تداخل در دو آینه فرنل و آینه لوید

2- اندزه‌گیری طول موج

- **وسایل آزمایش**

میز اپتیک- لامپ سدیم با ترانس مربوطه- شکاف متغیر- آینه فرنل- میکرو سکوپ دیجیتال- خط کش و ریزسنج- گیره

- **تئوری آزمایش**

هرگاه نوری با طول موج λ از دو منبع نقطه‌ای که دارای اختلاف فاز ثابتی هستند در نقطه‌ای به هم برسند، این دو نور با هم تداخل می‌کنند. بیان مختلط بردار دامنه ارتعاش در جهت x از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$E_i = E_0 e^{i\delta}$$

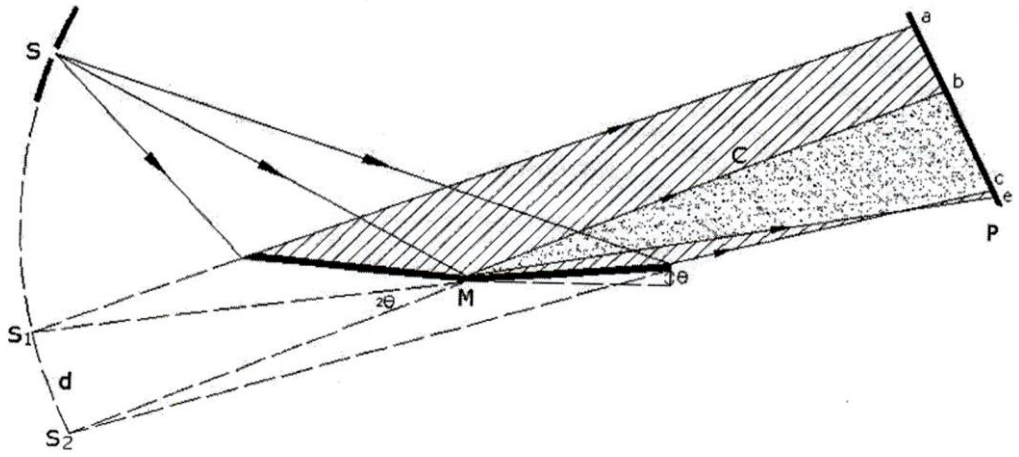
که δi نمایش فاز است و شدت جزئی از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$I = E_i . E_i^*$$

و مقدار آن برابر است با:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\delta \qquad (1)$$

در این رابطه $\delta = \delta_1 + \delta_2$ و I_1، I_2 شدت جشمه‌های اول و دوم است. بر طبق معادله (1) نقاط ماکزیمم و مینیمم به صورت تابعی از اختلاف فاز δ است. اگر از چشمه نورانی s یک دسته موج روی دو آینه فرنل که زاویه بین آن‌ها θ است بتابد طرح تداخلی روی پرده p مشاهده خواهد شد. آینه‌ها و چشمه s را می‌توان جانشین دو چشمه نورانی همدوس S_1 و S_2 با فاصله d دانست.(شکل10-1)



شکل 10 - 1

اگرR فاصله منبع S تا فصل مشترک دو آینه M باشد می توان نوشت

$$MS_1 = MS_2 = R$$

و

$$d = 2Rsin\theta \qquad (2)$$

اگر فاصله پرده D در مقایسه با فاصله بین دو ماکزیمم تداخلی متوالی بزرگ باشد، تقریبا اختلاف راه دو پرتو برابر است با:

$$r_1 - r_2 = \frac{xd}{D}$$

و اختلاف فاز δ از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\delta = K(r_1 - r_2) = \frac{2\pi}{\lambda}\left(\frac{xd}{D}\right) \qquad (3)$$

بر طبق معادله (3) محل ماکزیمم‌ها روی پرده از نوار مرکزی X جایی است که:

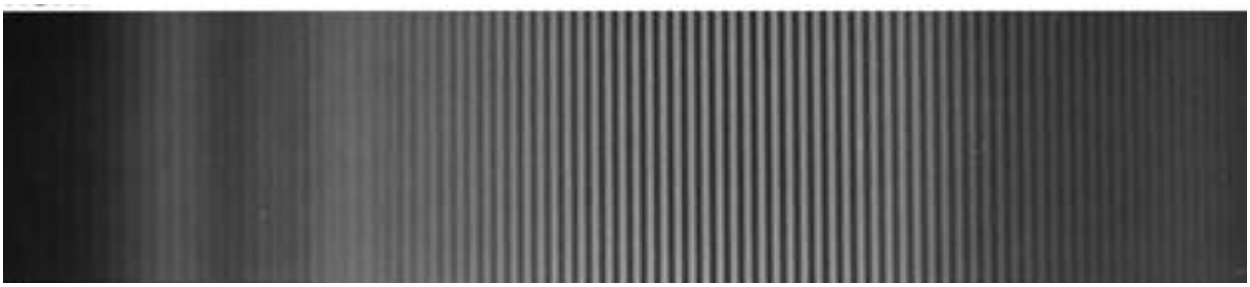
$$X = (m + \frac{1}{2})\frac{\lambda D}{d}\text{،}m = 0,1,2,...$$

روش اندازه‌گیری d از طریق اندازه‌گیری قوس مقابل زاویه θ دو آینه است، بدین ترتیب که ضخامت دو آینه در حالتی که $\theta = 0$ و در حالتی که زاویه دو آینه θ است، اندازه‌گیری می‌شود؛ اختلاف این دو مقدار تقریبا مساوی

قوس زاویه θ اســت. از رابطه (2) می‌توان فاصــله دو منبع را بدســت آورد. و چون زاویه کوچک اســت می توان نوشت:

$$d = 2R\sin\theta \approx 2R\tan\theta \approx 2R\theta$$

که R فصل مشترک دو آینه تا شکاف است.



شکل 10 - 2: طرح فریزهای تداخلی حاصل از دوآینه فرنل

روش آزمایش

ابتدا لامپ ســدیم را در فاصــله 2 تا 3 ســانتی‌متری شــکاف متغیر قرار دهید. پایه مخصــوص دو آینه را در حدود 10 سانتی‌متر شکاف متغیر، طوری تنظیم کنید که با فصل مشترک دو آینه کاملا موازی با شد. رعایت این نکته در تشکیل نوارهای تداخلی خیلی مهم است. چشمتان را طوری قرار دهید که نور انعکاسی از فصل مشترک دو آینه را مشاهده نمائید. در این صورت لوله میکروسکوپ را در امتداد خط دیدتان قرار دهید، یک نوار تاریک پهن مشاهده می‌نمائید که دو طرف آن روشن است. اگر نوار تاریک مشاهده نشد، مکان میکروسکوپ را یک مقدار جزئی تغییر دهید تا نوار مذکور را بیابید. حال با احتیاط پیچ آینه متحرک را بچرخانید تا زاویه دو آینه نزدیک به 180 درجه شود. در صورت موازی بودن شکاف نورانی با فصل مشترک و آینه و به شرطی که شدت منبع زیاد نباشد، نوارهای تداخلی را مشاهده خواهید نمود. چنانچه فرانژها رویت نشوند با تغییر عرض شکاف و زاویه بین دو آینه و دقت در موازی کردن شکاف با فصل مشترک، نوارهای تداخلی ظاهر خواهند شد. در این صورت اندازه‌گیری‌های لازم را انجام دهید و طول موج نور به کار رفته را محاسبه کنید. با تکرار آزمایش برای θهای مختلف می‌توانید بین λهای بدست آمده متوسط گیری نمائید.

سئوال

1- رابطه (1) را ثابت کنید.

2- راه‌های دیگری برای تعیین فاصله دو منبع مجازی در دو آینه فرنل پیشنهاد نمایید.

آزمایش 11

دو منشور فرنل

- ✓ بررسی پدیده تداخل نور به وسیله دو منشور فرنل
- ✓ اندازه‌گیری طول موج نور

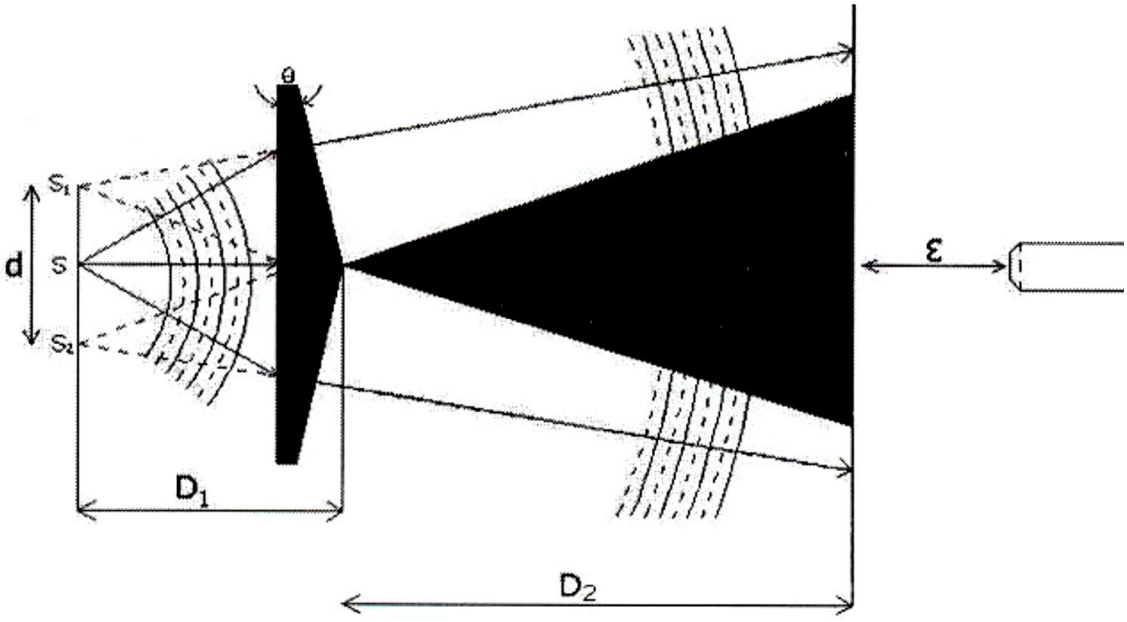
♦ وسایل آزمایش

لامپ سدیم با ترانس مربوطه- شکاف متغیر- دو منشور فرنل- میکروسکوپ دیجیتال- گیره دو پایه

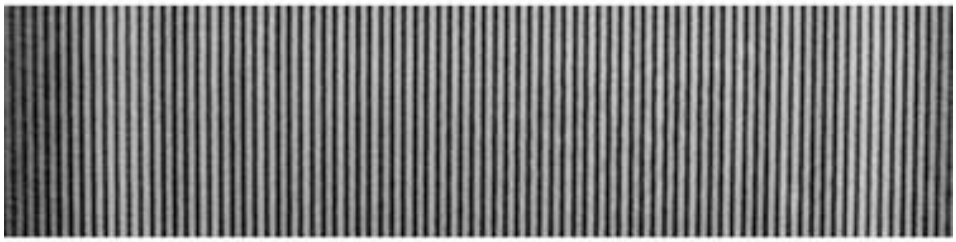
♦ تئوری آزمایش

اندکی بعد از انجام آزمایش دو روزنه یانگ این عقیده قوت گرفت که نوارهای تاریک و روشـــنی که وی مشـــاهده کرده در واقع پدیده تداخل نبوده اســـت و احتمالا این نوارها نتیجه رفتار پیچیده نور در برخورد با لبه شکاف‌ها بوده است به همین جهت تئوری موجی نور هنوز کاملا مورد قبول نبوده است، مدت زیادی نگذشت که فرنل چندین آزمایش جدید در مورد تداخل دو پرتو نور ارائه داد یکی از این آزمایش‌ها دو منشـــور فرنل بود. در دو منشور فرنل مطابق شکل (11-1) از شکاف S دو تصویر مجازی S_1 و S_2 بوجود می‌آورند و امواج صادره از دو تصـــویر S_1 و S_2 با هم تداخل کرده و فریزهائی مشـــابه فریزهای یانگ بوجود می‌آورند. مشـــابه آزمایش دو روزنه یانگ می‌توان با اندازه‌گیری فا صله دو فریز متوالی ایجاد شده (i)، به و سیله دو منـ شور، طول موج نور به کار رفته را حساب کرد. اگر D_2 فاصله سطح کانونی میکروسکوپ از دو منشور و d فاصله دو تصویر S_1 و S_2 از هم باشد، فاصله دو فریز متوالی برابر خواهد بود با:

$$i = \frac{\lambda(D_1 + D_2)}{d} \qquad (1)$$



شکل 11 - 1



شکل 11 - **2**: فریزهای تداخلی حاصل از دو منشور فرنل

روش آزمایش

روزنه متغیر S را نصب و لامپ سدیم را در مقابل آن طوری قرار دهید که روشنایی یکنواختی از آن خارج گردد. سپس دو منشور را در مقابل شکاف S و به فاصله‌ای در حدود 5 سانتی‌متر از آن بر روی میز به نحوی سوار کنید که خط اتصال دو منشور با شکاف S موازی باشد. با مشاهده تصاویر شکل به وسیله چشم غیر مسلح لبه دو منشور را با شکاف موازی کنید؛ سر را از یک سمت به طرف دیگر حرکت دهید، اگر دو روزنه کاملا موازی باشند وقتی چشم را به یک طرف تغییر مکان دهید بناگاه در امتداد تمام طولش ناپدید خواهد شد.

میکروسکوپ را در فاصله‌ای مناسب چنان قرار دهید که حرکت میکروسکوپ در امتداد افقی در جهت عمود بر تابش نور باشد. فریزها را با میکروسکوپ مشاهده، عرض شکاف S و موازی بودن را تنظیم کنید تا فریزها واضح دیده شوند؛ سپس i را برای حداقل 5 فریز متوالی اندازه بگیرید. فاصله D_1 و D_2 را با وسیله دقیقی مانند کولیس بدقت اندازه بگیرید. برا ی اندازه‌گیری فاصله D_2 کافی است فاصله دو منشور را از شیئی میکروسکوپ پیدا کرده و از این فاصله دید واضح میکروسکوپ ε را کم کنید. برای اندازه گیری d راه‌های مختلفی وجودی دارد که سه روش زیر روش‌های معمول می‌باشند.

1- ساده‌ترین روش آن است که میکروسکوپ را آن‌قدر جلو ببرید تا دو شکاف S_1 و S_2 در سطح کانونی میکروسکوپ قرار بگیرید و دو شکاف کاملا واضح دیده شوند و سپس فاصله دو شکاف را اندازه بگیرید.

2- زاویه راس α و n را به کمک اسپکترومتر اندازه‌گیری نمائید و با استفاده از رابطه

$$d = D_1\theta = D_1[2\alpha(n-1)]$$

d را حساب کنید.

3- زاویه θ را مستقیما به کمک اسپکترومتر اندازه‌گیری نمائید و با استفاده از رابطه فوق d را بدست آورید.

مقادیر اندازه‌گیری شده d و D_1 و D_2را در جدولی خلاصه کرده و مقدار متوسط i را حساب کنید و به کمک رابطه (1) مقدار λ را محاسبه کنید.

سئوال

محل تشکیل فریزها در دو منشور فرنل کجاست؟

آزمایش 12

روش به کار گیری تداخل سنج فابری پرو

1. چگونگی تنظیم تداخل سنج فابری سنج فابری –پرو برای مشاهده نوارهای تداخلی
2. روش مدرج کردن تداخل سنج فابری- پرو
3. طریقه اندازه گیری اختلاف دو طول موج نزدیک به هم (مثلا خطوط سدیم)تشریح میشود.

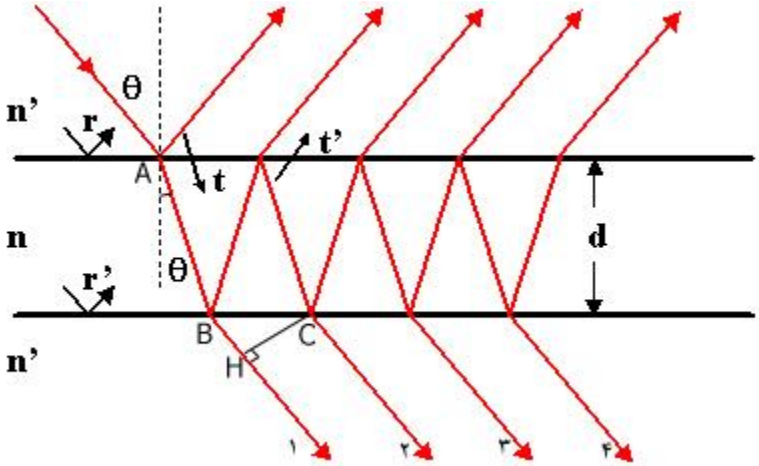
ملاحظات نظری :

اگر پرتویی که از یک نقطه مانند s از چشمه نورانی تک رنگ ساطع شده است به دو سطح موازی نه کاملا بازتاب کننده بتابد مطابق شـــکل بخشـــی از آن وارد محیط بعدی شـــده و بخش دیگر بازتاب می شـــود .بخشی از نور عبوری از سطح اول نیز به نوبه خود در سطح بعدی باز تابش یافته و قسمتی عبور می کند .این عمل به دفعات نامتناهی در فضای بین دو سطح موازی ادامه می یابد .مطابق شکل اگر فاصله دو سطح بازتابنده از یکدیگر d و زاویه تابش پرتو به سـطح آنها θ باشـد چنانچه AB را با l نمایش دهیم با وارد کردن خط عمود CH بر پرتو شـــماره 1 می توانیم اختلاف راه نوری هر دو پرتو متوالی (مثلا پرتوهای 1و2 را بصـــورت زیر به دست آوریم:

$$\text{اختلاف راه دو پرتوی متوالی} = \delta = 2l - 2d\tan\theta\sin\theta$$

$$\Rightarrow \delta = \frac{2d}{\cos\theta} - \frac{2d\sin^2\theta}{\cos\theta} = 2d\frac{1-\sin^2\theta}{\cos\theta} = 2d\cos\theta$$

$$\Rightarrow \delta = 2d\cos\theta \qquad (1)$$



چون پرتو های خروجی با هم موازی هستند می توان آنها را توسط یک عدسی در سطح کانونی جمع کرده و الگوی تداخلی آنها را مشاهده کرد .این عدسی می تواند عدسی چشم ناظر ویا یک دوربین باشد .

با توجه به معادله 1 هنگامی بیشینه شدت را داریم که : $2d\cos\theta_m = m\lambda (2)$

بدیهی ا ست که برای کلیه نقاطی از چ شمه گ سترده تک رنگ که پرتوی تاب شی آنها ن سبت به امتداد عمود بر سطح تیغه ها زاویه θ_m می سازد همین شرط برقرار بوده و لذا تمام نقاط پر شدت بر روی دایره ای م شاهده خواهند شد . بنابراین نوارهای تداخلی دوایری متحدالمرکز می با شند و آنچه که در مرکز این نوارها مشاهده می شود ($\theta_m=0$) در رابطه زیر صدق می کند که در این حالت نوار روشن مرتبه m ام در مرکز نوارها قرار گرفته است .

$$2d = m\lambda$$

اگر دو تیغه بازتاب کننده را از یکدیگر دور کنیم d افزایش یافته و مرتبه m در مرکز نوارها فزونی می یابد .به عبارت دیگر مرتبه های بالاتر در مرکز ظاهر می شـــوند ودر نتیجه از مرکز نوارها نوار های جدیدی متولد می شوند .چنانچه تیغه ها را به یکدیگر نزدیک مرتبهٔm در مرکز نوارها کاهش می یابد و لذا شعاع دایره های نوارهای تداخلی کوچک شده و به تدریج در مرکز محو می شوند.اگر نور تابیده از چ شمه نور گ سترده تکفام نباشـد مثلا ترکیبی از چند طول موج باشـد بدیهی اسـت برای هر طول موج نوارهای دایره ای مربوط به خودش ت شکیل می شود .در این حالت اگر نور شامل چندین طول موج به رنگ های مختلف با شد نوارهای دایرهای با رنگ های مختلف ایجاد می شود.

یک حالت خاص این ا ست که نور تابیده شامل دو طول موج $\lambda 1$و λ_2 با شد به صورتی که این طول موجها بسـیار بهم نزدیک بوده و اختلاف آنها بسـیار کوچک باشـد (مثلا دو خط زرد سـدیم).اگر بخواهیم دو خط تداخلی مربوط به دو طول موج $\lambda 1$و λ_2 را از یکدیگر تشـخیص داده و تفکیک کنیم با اسـتفاده از تداخل سنج فابری- پرو می توانیم به صورت عمل کنیم :در نوارهای مرکزی داریم:

$$2d = m_1\lambda_1$$
$$2d = m_2\lambda_2$$

وقتی آینه ها به هم چ سبیده با شند d=0 ا ست و $m_1=m_2=0$ یعنی مرتبه نوار مرکزی برای هر دو طول موج صفر بوده و بر هم منطبقند .حال به تدریج آینه ها را از یکدیگر دور می کنیم چون سرعت تولید و انبساط نوار های تداخلی طول موج کوتاهتر (مثلا λ_2) از نوارهای طول موج بلندتر (مثلا $\lambda 1$) بی شتر ا ست در نتیجه فاصله آینه ها به موقعیتی مانند d1 می ر سد که در آنجا نوارهای λ_2 به اندازه نصف فاصله دو نوار متوالی $\lambda 1$ از نوارهای $\lambda 1$

$$2d_1 = m_1\lambda_1 = (m_1 + \frac{1}{2})\lambda_2 (3)$$

جلو زده اند یعنی :

به عبارت دیگر مرتبه نوارهایλ_2به اندازه $\frac{1}{2}$ از مرتبه نوارهای $\lambda 1$ در مرکز بزرگتر ا ست. اگر فا صله آینه ها را باز هم زیادتر کنیم موقعیتی میرسد که نوارهای مربوط به λ_2 به اندازه فاصله دو نوار متوالی $\lambda 1$ از نوار های $\lambda 1$ جلو زده اند که در این حالت نوارها روی هم قرار گرفته و به جای دو د سته نوار یک د سته نوار مشاهده می شود . فاصله آینه ها را باز هم بیشتر می کنیم تا زمانی که نوارهای مربوط به λ_2 به اندزه 1.5 برابر فاصله دو نوار متوالی $\lambda 1$ از نوارهای $\lambda 1$ جلو زده اند .

اگر فاصله آینه ها در این وضعیت d_2 باشد داریم:

$$2d_2 = m_2\lambda_1 = (m_2 + \frac{3}{2})\lambda_2 (4)$$

یعنی مرتبه طول موج λ_2 به اندازه $\frac{3}{2}$ از مرتبه طول موج $\lambda 1$ بیشتر است.

از ترکیب روابط 3و4 خواهیم داشت:

$$2(d_2 - d_1) = (m_2 - m_1)\lambda_1 (5)$$
$$2(d_2 - d_1) = (m_2 - m_1 + 1)\lambda_2 = (m_2 - m_1)\lambda_2 + \lambda_2 (6)$$

با حذف $m_2 - m_1$ بین روابط 5 و6 نتیجه زیر بدست می آید:

$$2(d_2 - d_1) = \frac{2(d_2 - d_1)}{\lambda_1}\lambda_2 + \lambda_2$$
$$\Rightarrow 2(d_2 - d_1) = \frac{\lambda_1\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} (7)$$

چون $\lambda 1$و λ_2 خیلی بهم نزدیک هستند می توان نوشت:

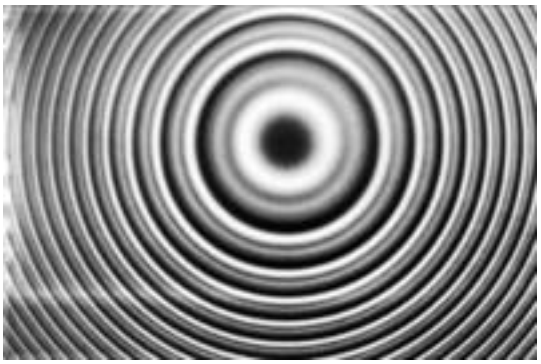
$$\lambda_1\lambda_2 \approx \bar{\lambda}^2$$
$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$$

با فرض اینکه :

$$\Delta d = d_2 - d_1, \Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$$

رابطه 7 به صورت زیر تبدیل می شود:

$$\Delta\lambda = \frac{\bar{\lambda}^2}{2\Delta d}$$



((شرح دستگاه تداخل سنج فابری پرو))

دستگاه تداخل سنج فابری – پرو به طور کلی از دو تیغه شیشه ای موازی تشکیل شده است که یک طرف آنها نیمه نقره اندود است و به همین دلیل توان بازتاب آنها از تیغه های شیشه ای معمولی بیشتر است . سطوحی که نیمه اندود شده اند باید کاملا تخت باشند وبه موازات یکدیگر مقابل هم قرار گیرند .یکی از تیغه ها روی قسمت متحرک و تیغه دیگر روی قسمت ثابت دستگاه سوار شده است . تیغه متحرک را می توان به وسیله یک پیچ میکرومتری به طور افقی جابجا کرد و بدین ترتیب فاصله دو تیغه را تغییر داد .پشت تیغه ثابت

دو پیچ مخصوص وجود دارد که به کمک آنها می توان زاویه این تیغه را نسبت به تیغه متحرک تغییر داد و دو تیغه را با یکدیگر موازی کرد .

a) تنظیم دستگاه تداخل سنج برای مشاهده نوارهای تداخلی:

1) لامپ سدیم را به منبع تغذیه آن متصل و روشن کنید تا گرم شود.گرم شدن لامپ حدود 5 دقیقه طول میکشد.

2) یک ورقه کوچک کاغذ را که در آن سوراخی کوچکایجاد نموده اید در مقابل لامپ سدیم روی حفاظ آن نصب کرده و لامپ را در فاصله نسبتا دور (حدود یک متر و بیشتر)از آینه های تداخل سنج قرار دهید .در این حالت عدسی جلو آینه ها را برداشته باشید

3) با پیچاندن پیچ های تنظیم آینه ثابت تداخل سنج وضعیتی را ایجاد کنید که تصاویر متعدد سوراخ ،به یکدیگر منطبق شوند .این کار را تا حد ممکن دقیق انجام دهید.

4) کاغذ را از مقابل لامپ بردارید ،در این حالت (اگر تنظیم خوبی انجام داده باشید)باید نوارهای تداخلی دایروی (یا حداقل قسمتی از ان ها)مشاهده گردند.

5) با تنظیم دقیق تر پیچهای تنظیم آینه ،وضوح نوارهای تداخلی را بهبود بخشید ، بطوری که اگر تاریک است تاریک،و اگر روشن است ،روشن باقی بماند.

6) با دقت و به آهستگی بطوریکه آینه تکان نخورد ، عدسی دستگاه را بر روی اینه ، و دوربین تداخل سنج را در محل مربو طه نصب نموده ودر آن نظاره کنید و با جابجا کردن عدسی چشمی دوربین ،بهترین تصویر را برای مشاهده بوجود اورید .

حال اگر پیچ میکرومتر دستگاه را به آهستگی بچرخانید ،تولید یا محو شدن نوارهای تداخلی در مرکز را بخوبی خواهید دید.

b) مدرج کردن تداخل سنج:

7) پس از آنکه دستگاه را بخوبی تنظیم کردید ،عدد میکرومتر را بخوانید، d_0

8) ضمن م شاهده در دوربین ،پیچ میکرومتری را به آه ستگی در جهتی که نوارهای تداخلی از مرکز تولید شـوند،بچرخانیدو اینکار را آنقدر ادامه دهید که 10 نوار از مرکز تولید شـود m=10 و عدد میکرومتر را قرائت کنید d_{10}.

9) این عمل را برای هر 10 نوار بعدی تا 190 نوار ادامه دهید و هر بار عدد میکرومتر را قرائت و یادداشت نموده و نتایج را در جدولی مطابق جدول زیر خلاصه کنید:

m_1	d'	m_2	d'	$\Delta m = m_2 - m_1$	$\Delta d = d'_2 - d'_1$
0		10 0			
1 0		11 0			
2 0		12 0			
3 0		13 0			

4 0		14 0			
5 0		15 0			
6 0		16 0			
7 0		17 0			
8 0		18 0			
9 0		19 0			

$\Delta\overline{m} = 100$ $\Delta\bar{d} =$

در تداخل سنج فابری پرو برای نوار مرکزی و تغییر فاصله آینه ها داریم:

$$2d = m\lambda$$

$$2\Delta d = \lambda\Delta m \Rightarrow \Delta d = \frac{\Delta m}{2}\lambda$$

با تناسب زیر مقدار تغییر فاصله آینه ها ورا بر حسب تغییر پیچ میکرومتر مدرج نمائید .

تغییر فاصله آینه ها	تغییر میکرومتر
$\Delta d = 50\lambda$	$\overline{\Delta d'}(mm)$

1mm $$\alpha = \frac{50\lambda}{\overline{\Delta d'}}$$

α ضریب تبدیل میباشد.

ج)اندازه گیری اختلاف طول موجهای D_1 و D_2 زرد سدیم :

10) پس از انکه دستگاه را برای ایجاد نوارهای تداخلی تنظیم نمودید ، پیچ میکرومتری را به آرامی بچرخانید ملاحظه خواهد شد که نوارهای تداخلی در بعضی مواقع بصورت جفت جفت ظاهر می گردند.(مطابق شکل 1)

11) با چرخاندن بیشتر پیچ میکرومتری وضعیت نوارها تغییر نموده ،فواصل آنها منظم تر شده ،حالت تناوبی را از دست داده و نوارهای طول موج λ_1 کاملا در وسط فواصل نوارهای طول موج λ_2 قرار میگیرند(مطابق شکل 2) .وقتی که حالت کاملا منظمی را مشاهده کردید .عدد میکرومتر را قرائت و یاددا شت نمائید.d_1

12) حال به چرخاندن میکرومتر در همان جهت قبلی ادامه دهید،ملاحظه خواهید کرد که نظم قبلی از بین رفته و مجددا فاصله نوارها بصورت تناوبی کم و زیاد می شود و موقعیتی میرسد که نواهای دو تایی به تک نوارها تبدیل میشود (نوارهای λ_1, λ_2 بر هم منطبق می شوند).

13) پیچ میکرومتری را باز بچرخانید تا نوارهای مزبور مجددا از یکدیگر جدا شده و کاملا بین هم قرار بگیرند .پس از حصول نتیجه مطلوب ،مجددا پیچ میکرومتری را قرائت و یادداشت کنیدd_2.

14) با ادامه دادن همین روش ،چندین مرتبه حالت مذکور را ایجاد و هر بار میکرومتر را قرائت و مقادیر d_4'', d_3'' را یادداشت کنید.

15) چون قبلا دســـتگاه را مدرج کرده اید میتوانید با اســـتفاده از آن ،تغییر فاصـــله آینه ها به ازای جابجایی

میکرومتر را برای هر بار بین هم افتادگی نوارها ، محاسبه و میانگین آنها را بدست آورید .

جابجائی آینه ها برای دو حالت بین هم قرار گرفتن نوارها $\Delta d_2 = d_2 - d_1 =$

$$\Delta d_2 = d_3 - d_2 = \alpha(d_3'' - d_2'')$$
$$\Delta d_3 = d_4 - d_3 = \alpha(d_4'' - d_3'')$$

$$\overline{\Delta d} = \frac{\Delta d_1 + \Delta d_2 + \Delta d_3}{3}$$

حال با استفاده از رابطه : $\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2\overline{\Delta d}}$ اختلاف طول موجها خطوط D_1 و D_2 سدیم را بدست آوردی .

توجه داشته باشید که λ= 5893 آنگستروم است .