

آزمایشگاه اپتیک 1

بهار 1383

نام آزمایشگر: محمد اولین چهارسوقی

نام همکار: رضا فرهادی فر

نام استاد: دکتر ارشمید نهال

فهرست کلی مطالب موجود در این جزوه

آشنایی با قطعه‌های اپتیکی و تکنیک‌های مقدماتی آزمایش و آشنایی با انواع ابیراهی‌ها

- آینه
- عدسی
- ابیراهی
 - ابیراهی رنگی
 - ابیراهی کروی
 - کما
 - آستیگاتیسم و انحنای میدان
 - پیچش
- آزمایش: موازی کردن یک باریکه‌ی نور
- آزمایش: ابیراهی کروی
- آزمایش: ابیراهی رنگی

آشنایی با قطبی‌گر، ایجاد و تشخیص نور قطبی با حالت‌های قطبش گوناگون

- قطبش خطی
- قطبش دایروی
- قطبش بیضی‌وار
- تولید نور پلاریزه
 - پلاریزور شبکه‌ی سیمی
 - پلاریزاسیون بر اثر بازتاب
 - پلاریزاسیون بر اثر شکست دوگانه
 - پلاریزاسیون بر اثر پراکندگی
- آزمایش: تولید نور قطبیده با قطبش خاص

کار با پالایه خنثی چگالی

- عکاسی سیاه و سفید
 - ظهور
 - حساسیت
 - منحنی حساسیت سنجی
 - ساختمان تصویر
 - ساختمان لوازم و داروهای تاریک‌خانه
 - لوازم لابراتوار عکاسی
 - داروهای عکاسی
 - ظهور فیلم در تانک

- سطوح دوگانه‌ی فیلم یا شیشه
- شرح دستگاه آگراندیسور
- طریقی عمل
- خصوصیات اعمال چاپ یا آگراندیسمان
- آزمایش: گرفتن عکس از طیف لامپ هالوژن
- آزمایش: ظهور و چاپ عکس
 - فیلم
 - کاغذ عکاسی

آشنایی با دوربین‌های CCD

- مدل‌های مختلف CCD
- معماری CCD
- مفاهیم اساسی CCD

همدوسی و تداخل امواج نوری

- تداخل نور و مفهوم هندسی
- همدوسی زمانی
- پهنای خط
- تداخل سنج مایکلسون
- آزمایش: اندازه‌گیری طول همدوسی لیزر هلیوم – نئون

پراش نور و اپتیک فوریه

- مقدمه و تعریف صورت مسئله
- توری پراش
 - طیف‌های مرتبه‌های گوناگون
 - قدرت تفکیک
 - پاشندگی
- آزمایش: مشاهده نقش پراش فرانیهوفر
- آزمایش: مشاهده پراش فرنل از یک لبه
- آزمایش: تعیین مقدار ثابت توری پراش
- آزمایش: تعیین بهره‌ی پراش توری
- آزمایش: تکرار آزمایش توری پراش یا دیود

مراجع

عنوان آزمایش: آشنایی با قطعه‌های اپتیکی و تکنیک‌های مقدماتی آزمایش و آشنایی با انواع ابیراهی‌ها

چکیده:

همانطور که می‌دانید اولین چیزی که در آزمایشگاه اپتیک با آن سر و کار داریم قطعات اپتیکی می‌باشد. این قطعات شامل آینه، عدسی، قطبی‌گر، جبران‌گر، پالایه‌ی خنثی و خیلی موارد دیگر. بنابراین برای اینکه بهتر بتوانیم در آزمایشگاه کار کنیم بهتر است که اطلاعاتی در مورد این قطعات داشته باشیم.

از طرف دیگر زمانیکه با قطعه سر و کار پیدا می‌کنیم بحث ساخت قطعات و ساختار قطعه‌های اپتیکی مطرح می‌شود. در اینجا بحثی وجود دارد به نام ابیراهی، بدین معنا که از آنجاییکه باریکه‌های نور همگی از محور اپتیکی عدسی نمی‌گذرند و با فاصله می‌گذرند، در نتیجه ابیراهی‌هایی به نام کروی، آستیگماتیسم، رنگی و غیره بوجود می‌آید که در ادامه توضیح بیشتری در این باره می‌دهیم.

مقدمه و تعریف صورت مسئله:

آینه:

مهمترین شاخص‌های تعیین کننده برای یک آینه عبارتند از:

1. لایه‌ی بازتابگر
2. زیرلایه
3. کیفیت سطح آینه
4. وضعیت خش‌های روی سطح
5. شکل و اندازه

1. لایه‌های بازتابگر به دو دسته‌ی اصلی تقسیم می‌شوند:

1.1. لایه‌های فلزی:

این لایه‌ها در محدوده‌ی وسیعی از طیف امواج الکترومغناطیسی به میزان قابل توجهی بازتاب دارند. میزان بازتاب از این لایه‌ها به زاویه‌ی فرود بستگی چندانی ندارند. لایه‌های آلومینیومی و نقره‌ای از متداولترین مواد برای ساخت آینه در محدوده‌ی مرئی طیف می‌باشند. در ناحیه‌ی فروسرخ طلا آینه‌ای بسیار مناسب است.

1.2. لایه‌های دی‌الکتریک

این لایه‌ها معمولاً از یک سری لایه‌های نازک دی‌الکتریک که بر روی هم نشانده شده‌اند ساخته می‌شوند. چنین آینه‌هایی دارای درصد بازتاب بالا در یک بازه‌ی خاص نسبتاً باریک از طیف امواج الکترومغناطیسی هستند. بازتاب از این آینه‌ها نسبت به تغییر زاویه‌ی فرود حساس است.

2. یکی از مهمترین پارامترهایی که نوع زیر لایه‌ی آینه را تعیین می‌کند، ضریب انبساط حرارتی آن است. این پارامتر در نتیجه‌ی تغییر دما یا فرود باریکه‌های پر انرژی به سطح آینه، کیفیت آن را تحت‌تاثیر قرار می‌دهد. در زیر نمونه‌های مختلفی از کاربرد مواد گوناگون آورده شده است:

- شیشه‌ی اپتیکی کروان عموماً برای استفاده در سیستم‌های غیر تصویری به کار می‌رود. شیشه‌ی کروان دارای ضریب انبساط نسبتاً بالایی است.
- شیشه‌های بروسیلیکاتی با ضریب انبساط پایین از انتخاب‌های مناسب برای آینه‌های بازتاب از سطح اول با کیفیت بالا هستند. معروفترین نوع این شیشه‌ها، شیشه‌ی پیرکس کمپانی کورتنینگ است.
- سیلیکای ذوب شده‌ی سنتزی (Synthetic Fused Silica) یکی از زیرلایه‌های مناسب برای آینه‌ها و همچنین عدسی‌ها است. به خطر انبساط حرارتی بسیار کم، آینه‌هایی با چنین زیر لایه‌ای در ساخت لیزرهای پرتوان بکار برده می‌شوند.
- زرو دور (Zerodour) نوعی سرامیک است، که هر چند به دلیل کدر بودنش در ساخت عدسی‌ها قابل استفاده نیست اما به دلیل انبساط حرارتی بسیار کم خود زیر لایه‌ی بسیار مناسبی برای ساخت آینه است.

3. دقت سطح یا در مورد آینه‌های تخت، تختی سطح عموماً با مشاهده‌ی فریزهای گوه‌ی هوای بوجودآمده بین یک سطح استاندارد و سطح آینه‌ی تحت بررسی تعیین می‌شود. کیفیت سطح را با میزان انحراف فریزها از یک خط راست تعیین می‌کنند. در زیر معیارهایی برای کیفیت آورده شده است:

- مقدار 3λ در 25 میلی‌متر برای سیستم‌های غیر تصویری مناسب است.
- مقدار $\frac{\lambda}{4}$ برای بسیاری از موارد آزمایشگاهی و همچنین قطعات صنعتی مناسب است.
- مقدار $\frac{\lambda}{10}$ معمولاً در سیستم‌های تصویری که تعداد قطعات زیادی در آن‌ها مصرف می‌شود، و اعوجاج سطح موج از هر یک از سطوح اپتیکی ممکن است در تصویر نهایی تاثیر بگذارد مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- مقدار $\frac{\lambda}{20}$ در آرایه‌های بسیار دقیق که در آن‌ها لیزر به عنوان چشمه‌ی نور به کار رفته است مورد استفاده قرار می‌گیرد. چنین آینه‌هایی برای تداخل سنجی و آزمایش‌های حساس به فاز سطح موج ایده‌آل هستند

4. در هنگام سایش و صیقل سطوح و پردازش آن‌ها خش‌ها و یا نقص‌های نقطه‌ای روی آن بوجود می‌آیند. این نقص‌ها با دو عدد مربوط به پهنا و عرض ((scratch and dig (SAD) آن‌ها بیان می‌شوند.

- 50-80 SAD برای آرایه‌هایی که لیزر در آن‌ها استفاده نمی‌شوند و سطح مقطع باریکه بزرگ باشد بکار می‌روند.
- 40-60 SAD بیشتر برای مصارف پژوهشی در ناحیه‌ی مرئی و مادون قرمز کاربرد دارد.

- SAD 20-40 هنگامیکه باریکه دارای قطر کم باشد و نور پراشیده شده در نتایج آزمایش موثر باشد استفاده می شود.
- SAD 10-20 در آزمایش های بسیار دقیق که در آنها لیزر به کار رفته باشد استفاده می شود.

عدسی:

عدسی ها از عمده ترین قطعات مورد استفاده در آزمایشگاه اپتیک هستند. با توجه به آنکه هر عدسی دارای دو سطح است عدسی ها را بر این مبنا به گروه های زیر تقسیم می کنند:

- تخت – همگرا convex-plano
- تخت – واگرا concave-plano
- همگرای متقارن symmetric convex
- واگرای متقارن symmetric concave
- همگرا – واگرا meniscus

پارامترهای مشخص کننده ی یک عدسی عبارتند از :

- شعاع انحنای دو سطح
- فاصله های کانونی
- ضخامت
- قطر
- جنس
- کیفیت سطح
- وضعیت خشها

ابیراهی:

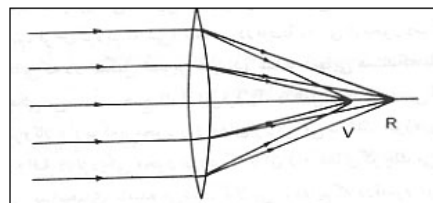
در تئوری زمانی که تشکیل تصاویر توسط سطوح شکست و عدسی های نازک را مطالعه می کنند، فرض می کنند که جسم نقطه ای در فاصله ی دوری از محور دستگاه اپتیکی قرار ندارد و پرتوهایی که در تشکیل تصویر سهیمند، عمدتاً آنهایی هستند که با محور دستگاه زاویه ی کوچکی می سازند. هیچ یک از این فرض ها در عمل، درست در نمی آیند. در واقع، با پرتوهایی سر و کار داریم که با محور زاویه های بزرگی می سازند. حوزه ای از اپتیک که با پرتوهای واقع در نزدیکی محور نوری که با آن زاویه های کوچک می سازند سر و کار دارد، اپتیک پیرامحوری نامیده می شود. در قلمرو اپتیک پیرامحوری، تصاویر اشیا کاملند، یعنی همه ی پرتوهایی که از یک جسم نقطه ای خارج می شوند در یک تک تصویر نقطه ای همگرا می شوند و بزرگنمایی دستگاه، مستقل از پرتو خاص مورد نظر، ثابتی از دستگاه نوری است. چون در دستگاه های نوری حقیقی، پرتوهای ناپیرامحوری نیز در تشکیل تصویر سهیمند، تصویرهای واقعی با تصویرهای ایده آل تفاوت هایی دارند. این انحراف از هدف ایده آل به چیزی به نام ابیراهی می انجامد.

می‌توان نشان داد که ابیراهی‌های اولیه‌ی هر دستگاه با تقارن دورانی را می‌شود با پنج ضریب مشخص کرد. این پنج ضریب نمایش ابیراهی کروی، کما، آستیگماتیسم، انحنای میدان، و واپیچش است. اینها ابیراهی‌های سیدل seidel نامیده می‌شوند. چون این ابیراهی‌ها حتی برای نور با یک تک طول موج نیز وجود دارند، ابیراهی‌های تکفام نیز نامیده می‌شوند.

لازم به یادآوری است که اگر چشمه‌ای چند فام (مانند نور سفید) برای تشکیل تصویر بکار رود، در این صورت، به طور کلی تصویر رنگی خواهد بود، و این را ابیراهی رنگی می‌گویند. از نظر فیزیکی ابیراهی رنگی از بستگی ضریب شکست جنس عدسی به طول موج تابش مورد بحث ناشی می‌شود. چون تشکیل تصویر با شکست در ناپیوستگی‌های ضریب شکست همراه است، بستگی ضریب شکست به طول موج مایه‌ی رنگی بودن تصویر می‌شود.

ابیراهی رنگی:

باریکه‌ای موازی از نور سفید را که مطابق شکل زیر بر عدسی همگرای نازکی می‌تابد در نظر می‌گیریم. چون نور آبی بیشتر از نور قرمز شکسته می‌شود، نقطه‌ی محل تمرکز نور آبی نسبت به نقطه‌ی مکان تمرکز نور قرمز به عدسی نزدیک‌تر است. پس، تصویر رنگی دیده می‌شود.



شکل 1: وقتی نور سفید به عدسی بتابد طول موج‌ها به مقادیر متفاوتی شکسته می‌شوند [3].

عبارت ابیراهی رنگی را برای مورد عدسی نازک به آسانی می‌توان به دست آورد. فاصله‌ی کانونی عدسی نازک از عبارت زیر به دست می‌آید

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

اگر تغییر n به اندازه‌ی δn (تغییر n ناشی از تغییر طول موج نور است)، باعث تغییر f به اندازه‌ی δf شود، با مشتق گیری از رابطه‌ی بالا داریم

$$-\frac{\delta f}{f^2} = \delta n \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{\delta n}{n-1} \frac{1}{f}$$

یعنی

$$\delta f = -f \frac{\delta n}{n-1}$$

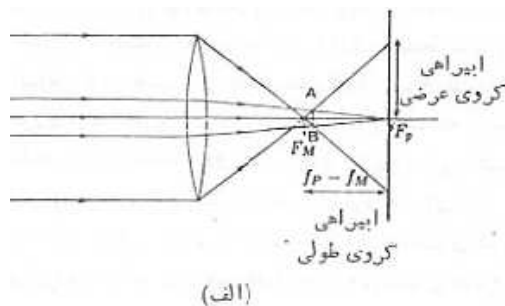
که نمایانگر ابیراهی رنگی عدسی نازک است. اگر n_b و n_r به ترتیب نمایش ضریب‌های شکست آبی و قرمز باشند، در این صورت

$$f_r - f_b = f \left(\frac{n_b - n_r}{n-1} \right)$$

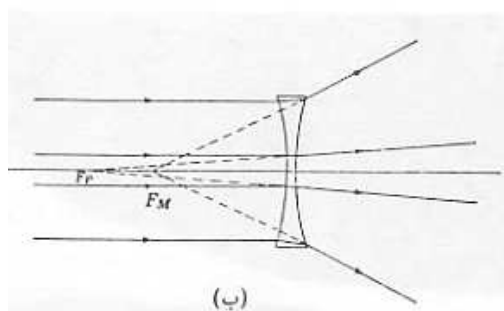
نمایش ابیراهی رنگی خواهد بود.

ابیراهی کروی:

فرض می‌کنیم باریکه‌ی نور موازی با محور بر عدسی نازکی فرود آید (شکل زیر). پرتوهای نور، پس از عبور از عدسی، به طرف محور خم می‌شوند و آن را در نقطه‌ای قطع می‌کنند. اگر به ناحیه‌ی پیرامحوری اکتفا کنیم، دیده می‌شود که همه‌ی پرتوها در همان نقطه‌ای محور Z را قطع می‌کنند که در فاصله‌ی f_p از عدسی قرار دارد. اگر بررسی خود را به ناحیه‌ی پیرامحوری محدود نکنیم، آنگاه به طور کلی، پرتوهایی که در ارتفاع‌های مختلفی بر عدسی فرود می‌آیند، در نقاط مختلف به محور برخورد می‌کنند. مثلاً در عدسی همگرا، پرتوهای کناری (که در نزدیکی دوره‌ی عدسی بر آن می‌تابند) در نقطه‌ای نزدیک‌تر از نقطه‌ی کانونی برای پرتوهای پیرامحوری کانونی می‌شوند (شکل الف زیر). به همین ترتیب، در عدسی واگرا، پرتوهایی که دورتر از محور می‌تابند گویی از نقطه‌ای نزدیک‌تر به عدسی بیرون آمده‌اند (شکل زیر ب). نقطه‌ای که پرتوهای پیرامحوری به محور برخورد کرده‌اند (F_p) کانون پیرامحوری و نقطه‌ای که پرتوهای نزدیک کناره با آن برخورد کرده‌اند، کانون کناری نامیده می‌شوند (F_M).



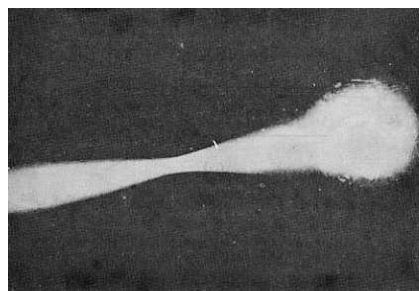
(الف)



(ب)

شکل 2: الف) ابیراهی کروی عدسی همگرا ب) عدسی واگرا [3].

در هر عدسی فاصله ی بین دو کانون معیاری است از ابیراهی کروی. بنابراین اگر \div نمایش یک جسم محوری باشد، پرتوهای مختلفی که از جسم خارج می شوند در نقاط مختلفی همگرا می شوند. در نتیجه تصویر یک جسم نقطه ای نقطه ای نخواهد بود. فاصله ی بین تصویر نقطه ای پیرامحوری و تصویر متناظر با پرتوهای کناری (یعنی پرتوهایی که به لبه ی عدسی برخورد می کنند) در امتداد محور، ابیراهی کروی طولی نامیده می شود. به همین ترتیب، فاصله ی بین تصویر نقطه ای پیرامحوری و نقطه ای که در آنجا پرتوی کناری به صفحه ی تصویری پیرامحوری برخورد می کند، ابیراهی کروی عرضی خوانده می شود (شکل بالا الف). تصویر روی هر صفحه (عمود بر محور Z) یک لکه ی نورانی دایره ای است، ولی چنانکه از شکل بالا الف پیداست، این لکه ی دایره ای در صفحه ی AB کمترین قطر را دارد. این لکه دایره ی کمترین اغتشاش نامیده می شود (ر. ک. عکس زیر). باید خطر نشان کرد برای جسمی که روی محور دستگاهی با تقارن استوانه ای قرار دارد (مانند دستگاهی از عدسی های هم محور) تصویر فقط دارای ابیراهی کروی خواهد بود.

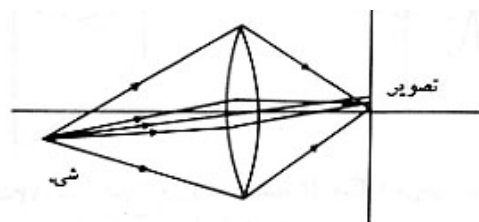


شکل 3: ابیراهی کروی عدسی همگرا [3].

کما

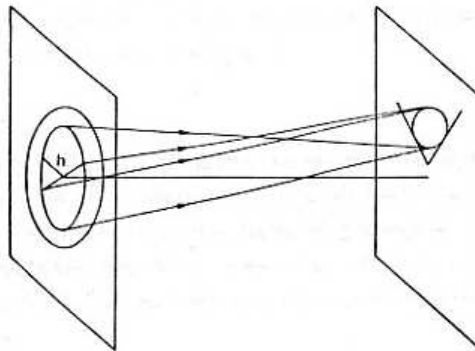
تصویر جسم نقطه ای واقع بر روی محور فقط دارای ابیراهی کروی خواهد بود. در مورد نقاط خارج از محور، تصویر دارای کما، آستیگماتیسم، انحنای میدان و واپیچش نیز خواهد بود. اولین ابیراهی خارج از محور کماست. یعنی، تصویرش نقاطی که خیلی نزدیک به محور قرار دارند فقط دارای ابیراهی کروی و کما خواهد بود.

اثر کما به صورت نموداری در شکل زیر نشان داده شده است. پرتوهایی که از نزدیک محور عدسی می گذرند، در نقطه ای غیر از نقطه ی کانونی شدن پرتوهای کناری کانونی می شوند. بنابراین به نظر می رسد که بزرگ نمایی در اجزای مختلف عدسی متفاوت است. اگر تشکیل تصویر منطقه های مختلف عدسی را در نظر بگیریم، آن گاه ابیراهی کروی ناشی از این واقعیت است که توان منطقه های گوناگون عدسی متفاوت است و کما نیز ناشی از همین واقعیت است که منطقه های مختلف بزرگ نمایی های متفاوتی دارند. در شکل زیر فقط آن پرتوهایی نشان داده شده اند که در صفحه ی نصف النهاری، یعنی صفحه ای که محور نوری و جسم نقطه ای در آن واقع اند، قرار دارد.



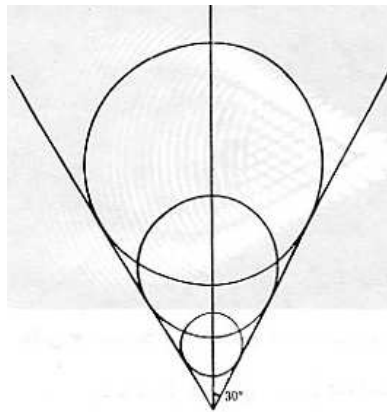
شکل 4: تشکیل تصویر با وجود کما [3].

در شکل زیر یک نمای سه بعدی را نشان داده ایم که دسته پرتوهایی که در فاصله ی یکسانی از مرکز عدسی به آن برخورد می کنند، در نظر گرفته شده است. پرتوهایی که در نقاط متقابل روی قطر به عدسی برخورد می کنند در یک تک نقطه روی صفحه ی پیرامجوری کانونی می شوند. این زوج پرتوهای مختلف در نقاط مختلف صفحه ی تصویر جمع می شوند، به طوری که این کانون ها روی دایره ای واقع اند.



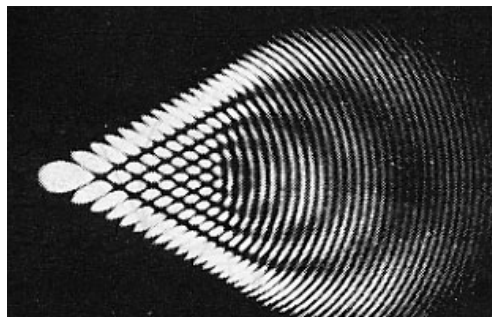
شکل 5: یک نمای سه بعدی [3].

از روی شعاع این دایره و فاصله ی مرکز از نقطه ی تصویر ایده آل کما را اندازه می گیرند. وقتی که شعاع منطقه (در شکل بالا با h نشان داده شده است) افزایش می یابد، مرکز دایره نیز از تصویر، دلخواه دور می شود. بنابراین، تصویر، ترکیبی وضع نمایش داده شده در شکل زیر را خواهد داشت.



شکل 6: تصویری ترکیبی را نشان داده ایم [3].

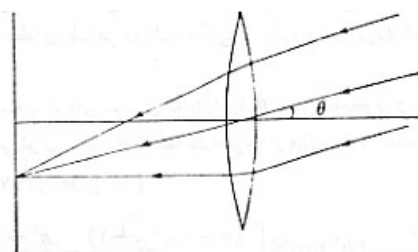
پس، تصویر یک جسم نقطه‌ای ظاهر دنباله شکلی را دارد و از این رو کُما نامیده می‌شود (ر.ک. شکل زیر).



شکل 7: تصویر یک چشمه‌ی نقطه‌ای که کُما را نشان می‌دهد [3].

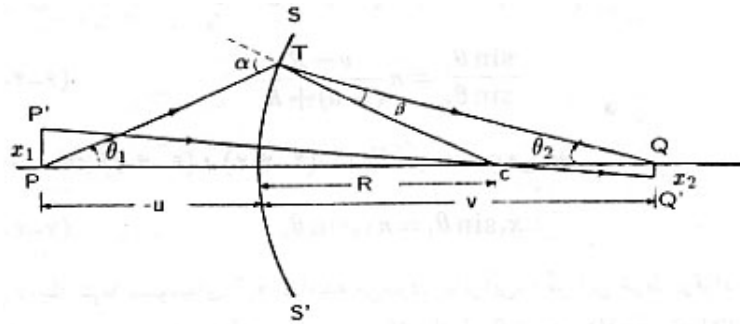
در مورد دسته پرتوهای موازی که با زاویه‌ی θ نسبت به محور Z بر عدسی فرود آیند (شکل زیر)، می‌توان نشان داد که کُما در تصویر از عبارت زیر به دست می‌آید (به کتاب بورن و ولف رجوع کنید).

$$C_{\text{کُما}} = \frac{3(n-1)}{2} f h^2 \tan^2 \theta \left[\frac{(n-1)(2n+1)}{nR_1 R_2} - \frac{n^2 - n - 1}{n^2 R_1^2} - \frac{n}{R_2^2} \right]$$



شکل 8: پرتوهای موازی بر عدسی نازک تابیده‌اند [3].

اکنون، شرطی را استنتاج می‌کنیم که در مورد یک دستگاه نوری بدون ابیراهی کروی و کُما باید برقرار باشد. این رابطه شرط سینوس‌های آبه نامیده می‌شود. ما این شرط را برای حالت خاص سطح شکننده‌ی کروی استنتاج می‌کنیم (برای اطلاعات بیشتر رجوع کنید به کتاب بورن و ولف). فرض می‌کنیم SS' سطح کروی شکننده با شعاع انحنا R باشد که دو محیط با ضریب شکست n را به ترتیب نمایش داده در شکل صفحه‌ی بعد از هم جدا می‌کند و Q تصویر نقطه‌ی P است. فرض می‌کنیم P' جسم نقطه‌ای خارج از محوری به فاصله‌ی x_1 از P باشد. باید شرطی را استنتاج کنیم که در آن Q' تصویر P' باشد.



شکل 9: استنتاج شرط سینوی‌های آبه [3].

از تشابه مثلث‌های $PP'C$ و $QQ'C$ داریم

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{(-u) + R}{v - R}$$

که در آن u و v ، فاصله‌ی جسم و تصویر از راس سطح کروی هستند. چون Q تصویر P است، پرتو PT ، پس از شکست، از نقطه‌ی Q می‌گذرد. با استفاده از قانون اسنل در نقطه‌ی T داریم

$$\sin \alpha = n \sin \beta$$

که در آن α و β در شکل بالا نشان داده شده‌اند. با استفاده از قانون سینوس‌ها در مثلث PTC داریم

$$\frac{\sin(\pi - \alpha)}{(-u) + R} = \frac{\sin \theta_1}{R}$$

که در آن $\theta_1 = \angle TPC$. بنابراین،

$$\frac{(-u) + R}{R} = \frac{\sin \alpha}{\sin \theta_1}$$

به همین ترتیب،

$$\frac{v - R}{R} = \frac{\sin \beta}{\sin \theta_2}$$

بنابراین، با استفاده از رابطه‌های بالا داریم

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = n \frac{v - R}{(-u) + R}$$

و در نهایت به رابطه‌ی زیر می‌رسیم

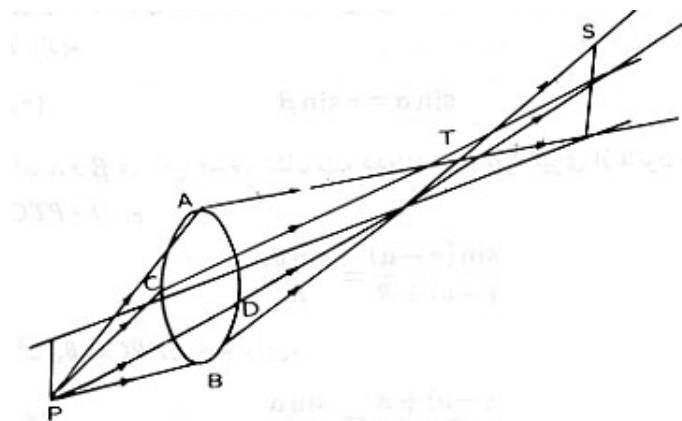
$$x_1 \sin \theta_1 = n x_2 \sin \theta_2$$

این رابطه شرط سینوس‌های آبه نامیده می‌شود. بنابراین، اگر این شرط برقرار باشد، نقاط نزدیک به محور حتی به ازای مقادیر بزرگ زاویه‌ی θ_1 تصویر واضحی خواهند داشت.

آستیگماتیسم و انحنای میدان

وقتی که یک دستگاه نوری ابیراهی کروی و کُما نداشته باشد، این دستگاه برای نقاطی که روی محور یا نزدیک آن واقع باشند تصویر واضحی خواهد داشت. ولی برای نقاط دور از محور، تصویر یک نقطه، یک نقطه نخواهد بود و در این صورت گفته می‌شود که دستگاه نوری دارای آستیگماتیسم است.

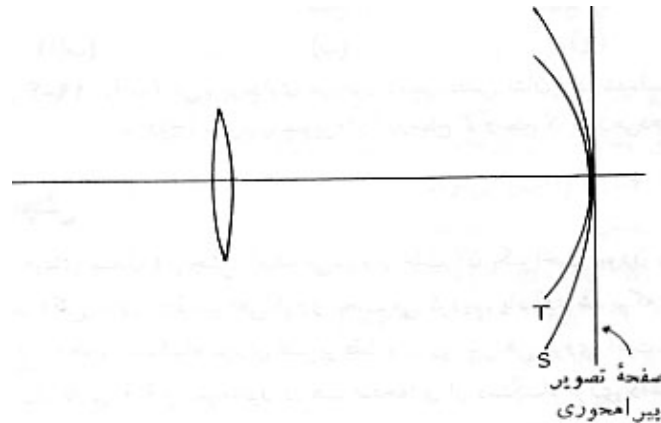
جسم نقطه‌ای P را دور از محور در نظر می‌گیریم. صفحه‌ای که شامل محور و جسم نقطه‌ای باشد، صفحه‌ی نصف‌النهاری نامیده می‌شود و صفحه‌ی عمود بر صفحه‌ی نصف‌النهاری (که شامل محور باشد) صفحه‌ی پیکانی نام دارد. شکل زیر طرز تشکیل تصویر را وقتی که دستگاه نوری فقط دارای آستیگماتیسم است، نشان می‌دهد.



شکل 10: تشکیل تصویر در هنگام وجود آستیگماتیسم (3).

پرتوهای داخل صفحه‌ی نصف‌النهاری در مقایسه با پرتوهای داخل صفحه‌ی پیکانی در نقطه‌ی متفاوتی همگرا می‌شوند. مثلاً، پرتوهای PA و PB در نقطه‌ی T و پرتوهای PC و PD در نقطه‌ی S که با T تفاوت دارد همگرا می‌شوند. چون در نقطه‌ی T پرتوهای داخل صفحه‌ی پیکانی هنوز کانونی نشده‌اند، در واقع یک خط کانونی وجود دارد که بر صفحه‌ی نصف‌النهاری عمود است. این خط کانونی T کانون مماسی نامیده می‌شود. به همین ترتیب، چون در S ، پرتوهای داخل صفحه‌ی نصف‌النهاری کانونی نیستند، یک خط کانونی به دست می‌آید که در صفحه‌ی مماسی قرار دارد. این خط، خط کانونی پیکانی نامیده می‌شود. فاصله‌ی بین S و T معیاری از آستیگماتیسم است.

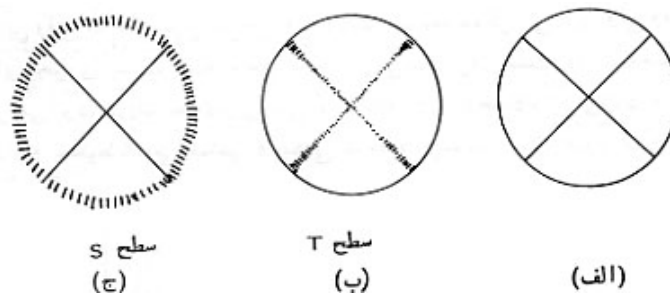
برای اینکه سرچشمه‌ی آستیگماتیسم را در یابیم، مشاهده می‌کنیم که برای نقطه‌ی روی محور (وقتی که عدسی فاقد سایر ایرادهای‌ها است) جبهه‌ی موج خارج شده از عدسی کروی است و بنابراین وقتی که جبهه‌ی موج پیش می‌رود، در یک تک نقطه همگرا می‌شود. ولی وقتی که جسم نقطه‌ای محوری نیست، جبهه‌ی موجی که خارج می‌شود کروی نیست و در نتیجه جبهه‌ی موجی که همگرا می‌شود، در یک نقطه کانونی نمی‌شود بلکه روی دو خط کانونی می‌شود که بر یکدیگر عمودند و خطوط کانونی مماسی و پیکانی نامیده می‌شوند. شکل تصویر در جایی بین دو خط کانونی دایره‌ای است و دایره‌ی با کمترین اغتشاش نامیده می‌شود.



شکل 11: کانون‌های مماسی و پیکانی (3).

فاصله‌ی بین کانون‌های مماسی و پیکانی با دور شدن جسم نقطه‌ای از محور افزایش می‌یابد. بنابراین، کانون‌های مماسی و پیکانی نقاطی که در فاصله‌های مختلف از محور قرار دارند مطابق شکل بالا بر دو سطح قرار دارند. وقتی دستگاه نوری بدون آستیگماتیسم نامیده می‌شود که دو سطح بر هم منطبق باشند. ولی حتی وقتی که دو سطح بر هم منطبق هستند فوری می‌توان دید که سطح تصویر نتیجه شده انحراف خواهد داشت. این نقص تصویر انحراف میدان نامیده می‌شود.

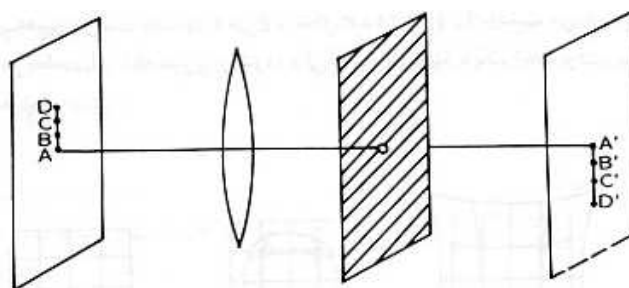
به عنوان مثالی از تشکیل تصویر در هنگامی که آستیگماتیسم وجود دارد، چرخ پره‌داری را مانند شکل زیر الف هم‌محور با محور عدسی در نظر می‌گیریم. چون تصویر چشمه‌ی نقطه‌ای در سطح T خطی عمود بر صفحه‌ی نصف‌النهاری است، در سطح T ، حاشیه‌ی چرخ به طور کامل واضح خواهد بود، در حالی که پره‌ها مانند شکل زیر ب واضح نیستند. به همین ترتیب چون تصویر جسم نقطه‌ای در صفحه‌ی S خطی واقع در صفحه‌ی نصف‌النهاری است، مطابق شکل زیر ج پره‌ها واضح‌اند، ولی حاشیه واضح نخواهد بود.



شکل 12: توضیح آستیگماتیسم (3).

واپیشش

آخرین ابیراهی‌های سیدل واپیشش نامیده می‌شود و علت آن یکنواخت نبودن بزرگ‌نمایی دستگاه است. همانطور که در قبل آوردیم برای جسم نقطه‌ای واقع بر محور دستگاه نوری تصویر فقط دارای ابیراهی کروی است. به همین ترتیب، اگر روزنه‌ای واقع بر محور در هر صفحه‌ای از دستگاه نوری داشته باشیم (شکل زیر)، تصویر فقط دارای واپیشش خواهد بود. علت این امر از آنجا ناشی می‌شود که متناظر با هر نقطه در صفحه‌ی تصویر، فقط یکی از پرتوهای خارج شده از این نقطه از روزنه می‌گذرد، در نتیجه، ابیراهی‌های دیگری وجود ندارند. واضح است که در مورد چنین شکلی، تصویر هر نقطه یک نقطه خواهد بود. ولی اگر بزرگ‌نمایی دستگاه یکنواخت نباشد، تصویر واپیچیده خواهد بود. این امر را با در نظر گرفتن طرز تشکیل چهار نقطه‌ی هم فاصله‌ی D, C, B, A که تصویرهای آن‌ها به ترتیب D', C', B', A' هستند، می‌توان توضیح داد.



شکل 13: باوجود روزنه در محور تصویر فقط دارای واپیشش است (3).

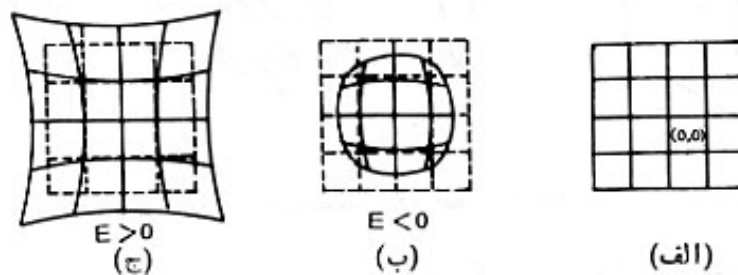
تحلیل ریاضی نشان می‌دهد که

$$X_d = Mx_o + E(x_o^2 + y_o^2)x_o$$

و

$$Y_d = My_o + E(x_o^2 + y_o^2)y_o$$

که در آن (x_o, y_o) و (X_d, Y_d) به ترتیب مختصات نقطه‌ی جسم و تصویر، M بزرگ‌نمایی دستگاه و E ضریب واپیشش است. شکل زیر ب با مقدار منفی E متناظر است که به آ واپیشش بشکهای می‌گویند. واپیشش تصویر را با در نظر گرفتن تصویر یک شبکه‌ی مربعی مطابق شکل زیر الف می‌توان به آسانی درک کرد. با فرض بزرگ‌نمایی واحد ($M=1$)، نقاطی که دارای مختصات $(0,0), (h,0), (2h,0), (3h,0), (0,h), (0,2h), (0,3h), (h,h), (h,2h), \dots$ هستند، به ترتیب تصویرهایی در $(0,0), (h+ Eh^3, 0), (2h+ 8Eh^3, 0), (3h+ 27Eh^3, 0), (0, h+ Eh^3), (0, 2h+ 8Eh^3), (0, 3h+ 27Eh^3), (h+ Eh^3, h+ Eh^3), (h+ Eh^3, 2h+ 8Eh^3), \dots$ خواهند داشت. اگر اکنون این نقاط را رسم کنیم، به ازای $E < 0$ ، شکلی نظیر آنچه در شکل زیر ب نشان داده شده است، به دست خواهیم آورد. به همین ترتیب، به ازای $E > 0$ ، شکل زیر ج را به دست می‌آوریم. هر نقطه در یک نقطه تصویر می‌شود، ولی تصویر به واسطه‌ی نایکنواخت بودن بزرگ‌نمایی واپیچیده شده است.



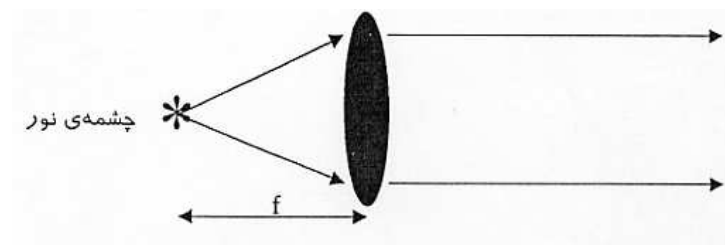
شکل 14: الف) جسم را نشان می‌دهد. ب) نمایش تصویر وقتی E منفی ج) وقتی E مثبت (3).

توضیح چگونگی و شرح مراحل مختلف کار:

آزمایش - موازی کردن یک باریکه نور:

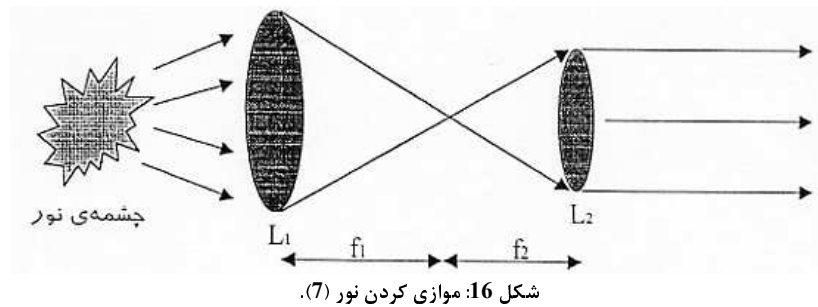
وسایل آزمایش: لامپ سفید، چند عدد عدسی کوژ، پرده سفید.

برای موازی کردن یک باریکه‌ی نور، ابتدا می‌آییم و یک منبع نقطه‌ای را در کانون یک عدسی هم‌گرا قرار می‌دهیم. یکبار از عدسی به فاصله‌ی 50 میلی‌متر و یکبار به فاصله‌ی 100 میلی‌متر استفاده می‌کنیم در این آزمایش هم چنین اثر فاصله‌ی کانونی عدسی بر کیفیت نور موازی شده بررسی شد.



شکل 15: موازی کردن باریکه‌ی نور (7).

از آنجاییکه در دنیای واقعی چیزی که به عنوان منبع داریم نقطه‌ای نمی‌باشد بنابراین می‌آییم و آزمایش بالا را یکبار دیگر انجام می‌دهیم، این بار ابتدا با استفاده از یک عدسی با فاصله‌ی کانونی 50 میلی‌متر از منبع یک تصویر نقطه‌ای در کانون عدسی می‌سازیم و از آن به عنوان منبع نور نقطه‌ای استفاده می‌کنیم. برای حذف کردن هاله‌های اضافی یک روزنه در محل نور کانونی شده قرار می‌دهیم. باید توجه شود که منبع حتماً باید در خارج فاصله‌ی کانونی قرار داده شود تا تصویر مجازی از آن تشکیل نشود. در ضمن هر چه منبع از عدسی اول دورتر باشد نور بهتر کانونی می‌شود چون نور منبع به حالت موازی نزدیک‌تر می‌شود. سپس با استفاده از عدسی به فاصله‌ی کانونی 100 میلی‌متر نور کانونی شده را موازی می‌کنیم.



آزمایش - ابیراهی کروی:

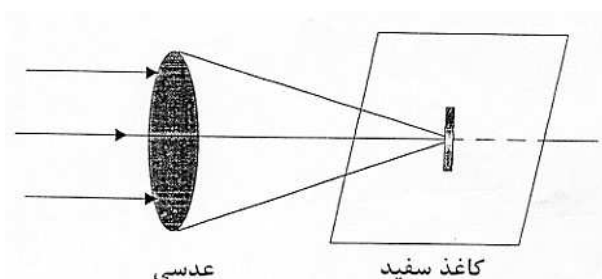
وسایل آزمایش: لامپ سفید، چند عدد عدسی کوژ، پرده سفید.

با استفاده از روشی که در بالا به آن اشاره شد یک باریکه نور موازی می‌سازیم که در آن عدسی اول 10 سانتی‌متر و عدسی دوم 15 سانتی‌متر باشد. سپس برای دیدن اثر ابیراهی کروی می‌آییم و از یک عدسی با فاصله‌ی کانونی 5 سانتی‌متر استفاده می‌کنیم. نور موازی شده را کانونی می‌کنیم. با قرار دادن یک کاغذ در محل کانون و حرکت دادن آن در روی محور سیستم می‌بینیم که کانون در یک نقطه متمرکز نیست و در آن جا هاله‌ای به وجود آورده است.

آزمایش - ابیراهی رنگی:

وسایل آزمایش: لامپ سفید، چند عدد عدسی کوژ، پرده سفید.

در این آزمایش می‌خواهیم ابیراهی رنگی را مشاهده کنیم. برای این کار از عدسی 5 سانتی‌متر استفاده می‌کنیم، برای بهتر دیدن این اثر می‌آییم و عدسی را کمی کج کنیم. یک کاغذ سفید را طوری روی نقطه‌ی کانونی عدسی قرار می‌دهیم که با محور اپتیکی عدسی زاویه‌ی کوچکی بسازد. قبل از کانون نور آبی روی پرده ظاهر می‌شود ولی بعد از کانون نور قرمز روی پرده می‌افتد.



شکل 17: ابیراهی رنگی (7).

تحلیل آزمایش، نتیجه گیری و منابع خطا:

از جمله نکاتی که در مورد موازی کردن نور باید به آن توجه کرد یکی این است که سعی کنیم با قرار دادن شکاف و روزنه در محل کانون‌ها نور بهتری به دست آوریم و دیگری اینکه نوری را که می‌تابانیم با فاصله‌ی بیشتری از عدسی بتابانیم زیرا با عث می‌شود که موازی‌تر باشد و بهتر در کانون جمع شود.

در مورد ابیراهی رنگی، رنگ آبی را قبل از کانون می‌بینیم، چون زودتر کانونی می‌شود و رنگ قرمز را بعد از کانون می‌بینیم. یک راه حل برای از بین بردن این ابیراهی استفاده از عدسی‌هایی است که دو تکه می‌باشند. در بین این دو قسمت از یک ماده خاص برای از بین بردن ابیراهی استفاده می‌شود.

در یک جمع بندی کلی منابع عمده‌ی خطا یکی نقطه‌ای نبودن کانون و دیگری کیفیت پایین عدسی‌ها می‌باشد. منبع خطای دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد گونیا نبودن طرح‌واره می‌باشد.

پاسخ به پرسش‌ها:

پرسش - با توجه به ابزار اندازه‌گیری شما دقت روی موازی بودن باریکه لیزر چند رادیان است؟

حل: رابطه‌ای را که برای انحراف داریم عبارت است از

$$\theta = \frac{\Delta y}{x_2 - x_1} \text{Rad}$$

بنابراین خطا در اینجا برابر خواهد بود با

$$\delta\theta = \delta\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right) = \frac{\delta(\Delta y)}{\Delta x} - \frac{\Delta y}{(\Delta x)^2} \delta(\Delta x)$$

پرسش - اگر از اپتیکی با دقت بالا استفاده کنید آیا می‌توانید پرتو کاملاً موازی بسازید؟ چرا؟

حل: نمی‌توان، زیرا چشمه‌ی نقطه‌ای یک ایده‌آل است و دست‌نیافتنی. شاید بتوان آن را با اصل عدم قطعیت نیز توجیه کرد، زیرا نمی‌توان مکان یک جسم را به طور کاملاً دقیق طبق این اصل مشخص کرد.

پرسش - معادله یک سهمی گون دوار را بنویسید.

$$z = a(x - x_0)^2 + b(y - y_0)^2 \quad \text{حل:}$$

پرسش - ترتیب رنگها را به نسبت فاصله‌شان از عدسی بنویسید.

حل: اگر از سمت عدسی به کانون حرکت کنیم، رنگ آبی را قبل از کانون می‌بینیم، به دلیل زاویه‌ی شکست و این‌که زودتر کانونی می‌شود و رنگ قرمز را بعد از کانون می‌بینیم. دلیل این امر ارتباط بین زاویه‌ی شکست و طول موج می‌باشد.

عنوان آزمایش: آشنایی با قطبی گر، ایجاد و تشخیص نور قطبی با حالت های قطبش گوناگون

چکیده:

در آزمایشگاه یکی از چیزهایی که با آن خیلی سر و کار پیدا خواهیم کرد، نور قطبی می باشد. همانطور که می دانید می توان نور را به عنوان یک موج الکترومغناطیسی عرضی در نظر گرفت. نور قطبیده ی خطی یا قطبیده ی تخت نوری است که سمت گیری میدان الکتریکی آن ثابت است، هر چند بزرگی و علامت آن با زمان تغییر کند. بنابراین میدان الکتریکی با آشفتگی نوری در صفحه ای به نام صفحه ی ارتعاش جای می گیرد. این صفحه ی ثابت هم بردار الکتریکی E و هم بردار انتشار K را در راستای حرکت در بر می گیرد.

حال فرض می کنیم که دو موج نوری هماهنگ قطبیده ی خطی با بسامدهای یکسان داریم، که در ناحیه ی واحدی از فضا و در راستای یکسانی حرکت می کنند. اگر بردارهای میدان الکتریکی آن ها هم خط باشند، آشفتگی های برهم نهاده با یکدیگر ترکیب می شوند تا موج قطبیده ی خطی برابندی را تشکیل دهند. برعکس، اگر این دو موج نوری چنان باشند که امتدادهای میدان الکتریکی مربوطه ی آن ها متقابلاً بر هم عمود باشند، ممکن است موج برابند قطبیده ی خطی باشد یا نباشد. حال مسئله ای که باید در اینجا به آن بپردازیم این است که حالت قطبش به چه صورت خواهد بود؟ و هم چنین چگونه می توانیم آن را تولید و مشاهده کنیم؟

مقدمه و تعریف صورت مسئله:

قطبش خطی

می توانیم دو آشفتگی نوری عمود بر هم را که در بالا به آن اشاره شد به صورت زیر نشان دهیم

$$E_x(z, t) = \hat{i} E_{ox} \cos(kz - \omega t)$$

و

$$E_y(z, t) = \hat{j} E_{oy} \cos(kz - \omega t + \varepsilon)$$

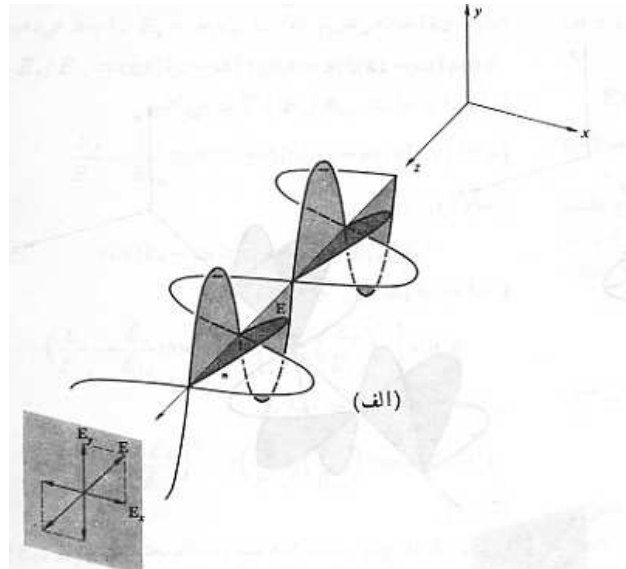
که در آن ε اختلاف فاز نسبی بین این موج هاست، که هر دو در راستای z حرکت می کنند. در این صورت آشفتگی نوری برابند برابر است با

$$E(z, t) = E_x(z, t) + E_y(z, t)$$

اگر ε صفر یا مضرب صحیحی از $\pm 2\pi$ باشد، می گویند موج ها هم فازند. در این حالت خاص معادله ی بالا به صورت زیر در می آید

$$E = (\hat{i} E_{ox} + \hat{j} E_{oy}) \cos(kz - \omega t)$$

بنابراین موج حاصل دارای دامنه‌ی ثابت $(\hat{i}E_{ox} + \hat{j}E_{oy})$ است، یعنی این موج نیز همانطور که در شکل زیر نشان داده شده، قطبیده‌ی خطی است.



شکل 18: قطبش خطی (1).

این فرایند می‌تواند به همین سادگی در جهت عکس نیز انجام گیرد. بدین معنی که می‌توانیم هر موج تخت قطبیده را به دو مولفه‌ی عمود بر هم تجزیه کنیم.

حال فرض کنید که \mathcal{E} مضرب صحیح و فردی از $\pm\pi$ باشد، در این صورت می‌گویند این دو موج به اندازه‌ی 180° با هم اختلاف فاز دارند و

$$E = (\hat{i}E_{ox} - \hat{j}E_{oy})\cos(kz - \omega t)$$

باز هم این موج قطبیده‌ی خطی است، ولی صفحه‌ی ارتعاش نسبت به وضعیت قبلی چرخیده است (اما نه لزوماً 90°).

قطبش دایره‌ای

حالت خاص دیگری که به ویژه درخور توجه است زمانی پیش می‌آید که دامنه‌ی هر دو موج یکسان باشند، یعنی $E_{ox} = E_{oy} = E_o$ و بعلاوه، اختلاف فاز نسبی آنها $\mathcal{E} = -\frac{\pi}{2} + 2m\pi$ باشد که در آن $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$. به همین ترتیب

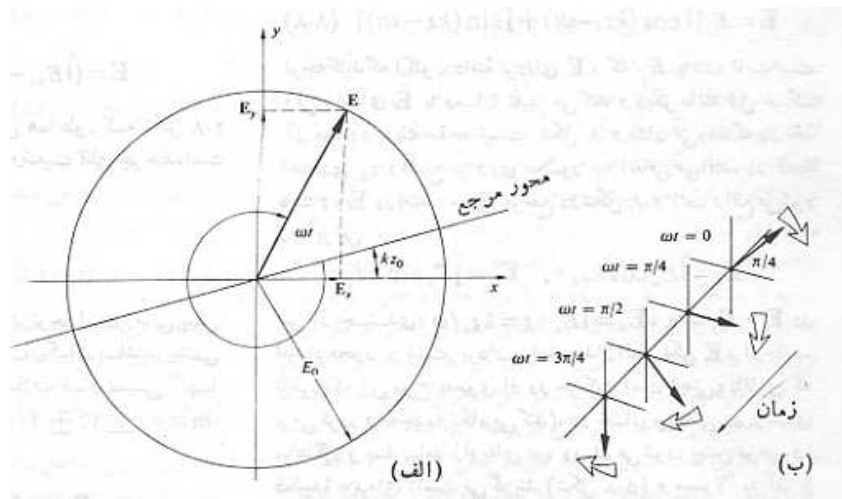
$$\vec{E}_x(z, t) = \hat{i}E_o \cos(kz - \omega t)$$

$$\vec{E}_y(z,t) = \hat{j}E_0 \sin(kz - \omega t)$$

موج حاصل از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید (شکل زیر)

$$\vec{E} = E_0 [\hat{i} \cos(kz - \omega t) + \hat{j} \sin(kz - \omega t)]$$

توجه کنید که اکنون دامنه‌ی نرده‌ای \vec{E} ، که E_0 باشد، ثابت است. ولی راستای \vec{E} با زمان تغییر می‌کند و دیگر حرکت آن محدود به یک صفحه نیست. شکل زیر نشان می‌دهد که در نقطه‌ی اختیاری z_0 واقع بر روی محور چه اتفاقی می‌افتد.



شکل 19: چرخش بردار الکتریکی در یک موج راست گرد (1).

در لحظه‌ی $t=0$ ، \vec{E} در امتداد محور مرجع در شکل بالا الف واقع می‌شود و بنابراین

$$\begin{aligned}\vec{E}_x &= \hat{i}E_0 \cos kz_0, \\ \vec{E}_y &= \hat{j}E_0 \sin kz_0.\end{aligned}$$

پس از چندی، $t = \frac{kz_0}{\omega}$ ، $\vec{E}_x = \hat{i}E_0$ ، $\vec{E}_y = 0$ و \vec{E} در امتداد محور x است. برداری براینده میدان الکتریکی \vec{E} ، از جانب ناظری که این موج به سوی او در حرکت است، در حال چرخش در راستای ساعتگرد و با بسامد زاویه‌ای ω ، دیده می‌شود. چنین موجی را قطبیده‌ی دایره‌ای راستگرد می‌گویند. همچنان که موج به اندازه‌ی یک طول موج به پیش می‌رود، بردار \vec{E} یک دورانه کامل اجرا می‌کند. در مقام مقایسه، اگر $\varepsilon = \frac{\pi}{2} + 2m\pi$ که در آن $m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ، در این صورت داریم

$$\vec{E} = E_0 [\hat{i} \cos(kz - \omega t) - \hat{j} \sin(kz - \omega t)]$$

دامنه تغییر نمی‌کند، ولی \vec{E} الان در راستای پادساعتگرد می‌چرخد و این موج را قطبیده‌ی دایره‌ای چپ‌گرد می‌نامند.

یک موج قطبیده‌ی خطی را می‌توان از ترکیب دو موج قطبیده‌ی دایره‌ای در خلاف جهت یک‌دیگر و با دامنه‌های مساوی به دست آورد. در حالت خاص با استفاده از دو معادله‌ی بالا داریم

$$\vec{E} = 2E_0 \hat{i} \cos(kz - \omega t)$$

که دامنه‌ی آن بردار ثابت $2E_0 \hat{i}$ است و بنابراین قطبیده‌ی خطی است.

قطبش بیضی‌وار

تا آنجا که به توصیف ریاضی مربوط می‌شود، نور خطی و دایره‌ای را می‌توان حالت‌های خاصی از قطبیده‌ی بیضی‌وار، یا به بیان ساده‌تر، نور بیضی‌وار دانست. منظور ما این است که عموماً بردار الکتریکی برابند، \vec{E} ، هم خواهد چرخید و هم دامنه‌اش تغییر خواهد کرد. در چنین مواردی، هم‌چنان که موج جاروب می‌کند و می‌گذرد، نقطه‌ی انتهایی \vec{E} ، در صفحه‌ای ثابت و عمود بر \vec{k} ، یک بیضی رسم می‌کند. اگر عبارتی برای منحنی که نوک \vec{E} طی می‌کند بنویسیم، می‌توانیم این مطلب را بهتر درک کنیم. برای این منظور به یاد می‌آوریم که

$$E_x(z, t) = \hat{i} E_{0x} \cos(kz - \omega t)$$

9

$$E_y(z, t) = \hat{j} E_{0y} \cos(kz - \omega t + \varepsilon)$$

معادله‌ی منحنی که در جستجویش هستیم نه باید تابعی از مکان باشد و نه تابعی از زمان، یعنی ما باید بتوانیم از وابستگی به $(kz - \omega t)$ خلاص شویم. عبارت مربوط به E_y را بسط می‌دهیم

$$\frac{E_y}{E_{0y}} = \cos(kz - \omega t) \cos \varepsilon - \sin(kz - \omega t) \sin \varepsilon$$

و آن را با عبارت $\frac{E_x}{E_{0x}}$ ترکیب می‌کنیم

$$\sin(kz - \omega t) = \sqrt{1 - \left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2}$$

و بنابراین در نهایت به دست می‌آوریم

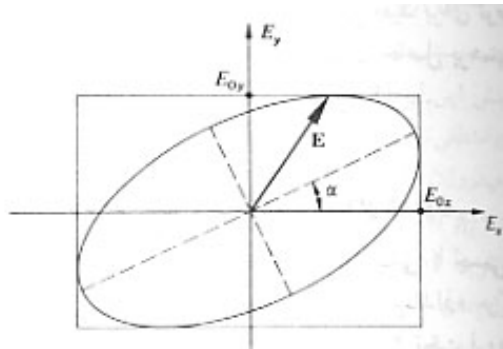
$$\left(\frac{E_y}{E_{oy}} - \frac{E_x}{E_{ox}} \cos \varepsilon \right)^2 = \left[1 - \left(\frac{E_x}{E_{ox}} \right)^2 \right] \sin^2 \varepsilon$$

سر انجام با مرتب کردن جملات به دست خواهیم آورد که

$$\left(\frac{E_y}{E_{oy}} \right)^2 + \left(\frac{E_x}{E_{ox}} \right)^2 - 2 \left(\frac{E_y}{E_{oy}} \right) \left(\frac{E_x}{E_{ox}} \right) \cos \varepsilon = \sin^2 \varepsilon$$

این معادله‌ی یک بیضی است که با دستگاه مختصات (E_x, E_y) زاویه‌ی α می‌سازد (شکل زیر) به طوری که

$$\tan 2\alpha = \frac{2E_{ox}E_{oy} \cos \varepsilon}{E_{ox}^2 - E_{oy}^2}$$



شکل 20: قطبش بیضی وار (1).

اگر محورهای اصلی بیضی در امتداد محورهای مختصات قرار بگیرند، یعنی $\alpha = 0$ ، یا هم ارز آن

$$\varepsilon = \pm \frac{\pi}{2}, \pm \frac{3\pi}{2}, \pm \frac{5\pi}{2}, \dots$$

در این صورت معادله‌ی بیضی به شکل ساده و آشنای زیر در خواهد آمد

$$\frac{E_y^2}{E_{oy}^2} + \frac{E_x^2}{E_{ox}^2} = 1$$

به علاوه، به ازای $E_{oy} = E_{ox} = E_o$ ، آن‌گاه

$$E_y^2 + E_x^2 = E_o^2$$

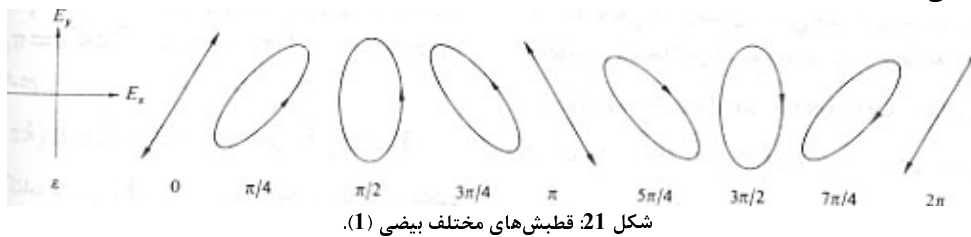
که با نتایج قبلی وفق می‌کند و یک دایره است. اگر \mathcal{E} مضرب زوجی از π باشد، خواهیم داشت

$$E_y = \frac{E_{oy}}{E_{ox}} E_x$$

و به همین ترتیب اگر \mathcal{E} مضرب فردی از π باشد داریم

$$E_y = -\frac{E_{oy}}{E_{ox}} E_x$$

این‌ها هر دو خطِ راست هستند با شیب $\pm \frac{E_{oy}}{E_{ox}}$ ، یعنی نورِ خطی است. شکل زیر بیشتر این نتایج را به کمک نمودار جمع‌بندی می‌کند.

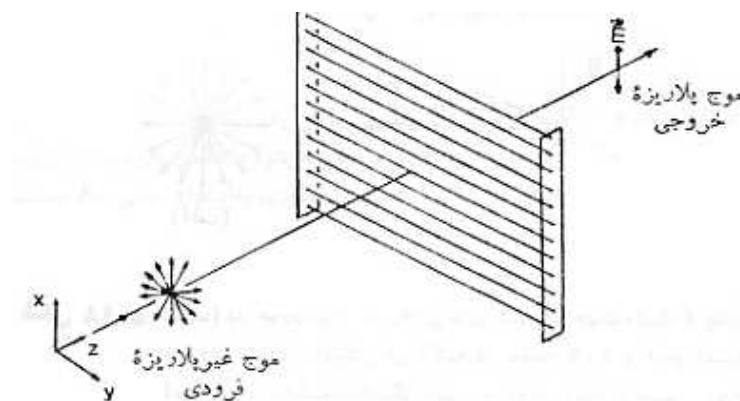


شکل 21: قطبش‌های مختلف بیضی (1).

تولید نور پلاریزه

پلاریزور شبکه‌ی سیمی و پلاروید

این پلاریزور شامل تعداد زیادی سیم مسی نازک است که مطابق شکل زیر به موازات یکدیگر قرار دارند. اگر موج الکترومغناطیسی غیر پلاریزه‌ای بر آن بتابد، مولفه‌ی بردار الکتریکی در امتداد طول سیم جذب می‌شود. این روند ناشی از این واقعیت است که میدان الکتریکی بر الکترون‌های درون سیم‌های نازک تأثیر می‌گذارد و انرژی وابسته به میدان الکتریکی به صورت گرمای ژول تلف می‌شود. از سوی دیگر چون سیم‌ها خیلی نازک فرض می‌شوند، مولفه‌ی بردار الکتریکی موازی محور x بدون تضعیف از آن عبور می‌کند. بدین ترتیب موج خروجی پلاریزه‌ی خطی است که بردار الکتریکی آن با محور x موازی خواهد بود. ولی در مورد سیستمی که می‌خواهیم مولفه‌ی دیگر به صورت کامل حذف شود باید فاصله‌ی بین سیم‌ها کوچک‌تر یا مساوی λ باشند.



شکل 22: پلاریزور شبکه‌ی سیمی (3).

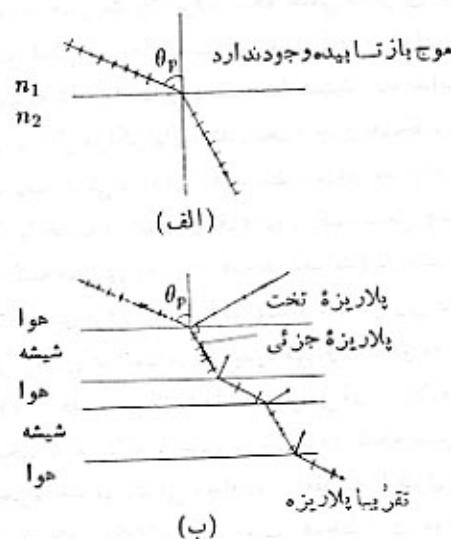
ساختن یک پلاریزور شبکه‌ی سیمی که برای نور مرئی مناسب باشد فوق‌العاده دشوار است. لیکن، به جای سیم‌های بلند نازک، می‌توان از مولکول‌های پلیمر بلند زنجیره بهره گرفت که شامل اتم‌هایی (نظیر ید) هستند، که هدایت زیادی را در طول زنجیره پدید می‌آورند. این مولکول‌های بلند زنجیره چنان هم‌خط می‌شوند که گویا موازی یک‌دیگرند. به علت رسانندگی زیادی که توسط اتم‌های ید فراهم می‌آید، میدان الکتریکی موازی با مولکول‌ها جذب می‌شود. ورقه‌ای را که شامل چنین مولکول‌های پلیمر زنجیره بلندی است، که موازی یک‌دیگر هم‌خط شده‌اند، پلاروید می‌نامند.

پلاریزاسیون بر اثر بازتاب

اکنون فرود یک موج تخت را بر دی الکتریک بررسی می‌کنیم. فرض می‌کنیم که بردار الکتریکی وابسته به موج فرودی، مطابق شکل زیر الف در صفحه‌ی تابش قرار داشته باشد. اگر زاویه‌ی فرود (θ) چنان باشد که

$$\theta = \theta_p = \tan^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

در این صورت ضریب بازتاب صفر است. بنابراین، هرگاه باریکه‌ی غیر پلاریزه‌ای تحت این زاویه فرود آید، باریکه‌ی بازتابیده پلاریزه‌ی خطی است و بردار الکتریکی آن بر صفحه‌ی تابش عمود خواهد بود (شکل زیر ب). معادله‌ی بالا را قانون بروستر می‌نامند و تحت این زاویه‌ی تابش پرتوهای بازتابیده و عبوری بر هم عمودند. زاویه‌ی θ_p به زاویه‌ی پلاریزه کننده یا زاویه‌ی بروستر معروف است.



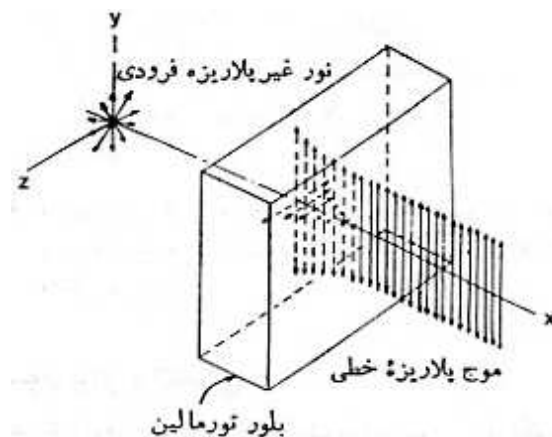
شکل 23: پلاریزاسیون بر اثر بازتاب (3).

در مورد سطح جدایی هوا-شیشه، $n_1 = 1, n_2 \approx 1.5$ و از اینجا خواهیم داشت $\theta_p \approx 57^\circ$. باریکه‌ی عبوری پلاریزه‌ی جزیی است و اگر از تعداد زیادی سطوح بازتابنده بهره بگیریم می‌توان باریکه‌ای تقریباً با پلاریزاسیون تخت به دست آورد (شکل بالا ب).

پلاریزاسیون بر اثر شکست دوگانه

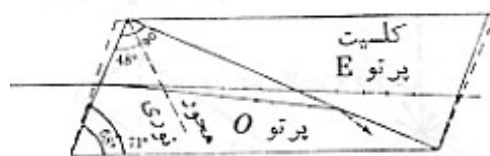
اگر باریکه‌ی غیر پلاریزه‌ای وارد بلور ناهم‌سانگردی شود، به دو باریکه تقسیم می‌شود که هر یک از آن‌ها با حالت پلاریزاسیون معینی مشخص می‌شود. هرگاه به روشی بتوانیم یکی از باریکه‌ها را حذف کنیم، به یک باریکه‌ی پلاریزه‌ی خطی دست خواهیم یافت.

یکی از روش‌های ساده برای حذف یکی از باریکه‌ها عبارت است از جذب انتخابی. بلوری نظیر تورمالین که باریکه‌ی فرودی در داخل آن به دو باریکه‌ی پلاریزه‌ی خطی تقسیم می‌شود، برای این دو باریکه ضریب‌های جذب متفاوتی دارد. در نتیجه یکی از باریکه‌ها به سرعت جذب می‌شود و مولفه‌ی دیگر بدون تضعیف زیادی از بلور عبور می‌کند. بدینسان اگر باریکه‌ی غیر پلاریزه‌ای از بلور تورمالین عبور داده شود، باریکه‌ی خروجی پلاریزه‌ی خطی خواهد بود (شکل زیر).



شکل 24: پلاریزاسیون بر اثر شکست دوگانه (3).

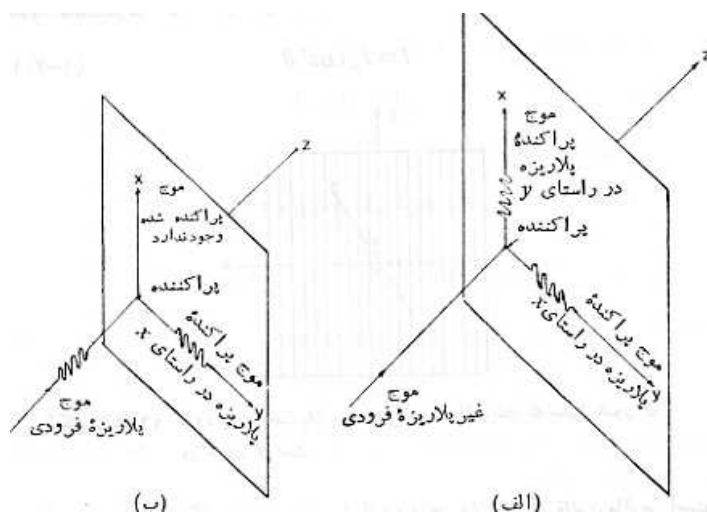
روش دیگر برای حذف یکی از باریکه‌های پلاریزه از طریق بازتاب داخلی کلی به انجام می‌رسد. دو باریکه دارای سرعت‌های پرتوی متفاوت‌اند و به همین علت ضریب شکست مربوط به آن‌ها نیز تفاوت می‌کند. اگر بتوانیم لایه‌ای از ماده‌ای را که ضریب شکست آن بین این دو مقدار ضریب شکست است در داخل بلور قرار دهیم، در این صورت برای یکی از باریکه‌ها فرود در محیط رقیق‌تر و برای دیگری در محیط غلیظ‌تر انجام خواهد شد. در منشور نیکول از این اصل بهره می‌گیرند. این منشور از بلور کلسیت تشکیل شده و به طریقی آن را می‌برند که نسبت به باریکه‌ای که لایه‌ی قرار داده شده برای آن محیط رقیق‌تر به شمار می‌آید، زاویه‌ی فرود از زاویه‌ی حد بزرگ‌تر باشد. بنابراین، این باریکه‌ی بخصوص از طریق بازتاب داخلی کلی حذف خواهد شد. شکل زیر بلور کلسیتی را نشان می‌دهد که به درستی برش داده شده است و در آن یک لایه طوری قرار داده شده است که پرتوی عادی بازتاب داخلی کلی می‌نماید. مولفه‌ی غیر عادی از آن عبور می‌کند، و باریکه‌ای که از بلور خارج می‌شود پلاریزه‌ی خطی است.



شکل 25: منشور نیکول (3).

پلاریزاسیون بر اثر پراکندگی

هرگاه باریکه‌ی نور غیر پلاریزه‌ای بر گازی فرود آید، در این صورت باریکه‌ی پراکنده‌ای که بر باریکه‌ی فرودی عمود است، پلاریزه‌ی خطی خواهد بود. علت این امر آن است که موج‌هایی که در جهت y انتشار می‌یابند بوسیله‌ی مولفه‌ی x نوسان‌های دوقطبی تشکیل می‌شوند (شکل زیر). مولفه‌ی y نوسان‌های دوقطبی، هیچ‌گونه میدانی را در جهت y تولید نمی‌کنند. واضح است که اگر بردار الکتریکی باریکه‌ی فرودی پلاریزه‌ی خطی در راستای x باشد، در راستای محور x هیچ نور پراکنده‌ای وجود نخواهد داشت. بدین ترتیب، موج پراکنده‌ای را می‌توان با پراکنده ساختن دوباره‌ی آن تحلیل کرد (شکل زیر ب)



شکل 26: پلاریزاسیون بر اثر پراکندگی (3).

توضیح چگونگی و شرح مراحل مختلف کار:

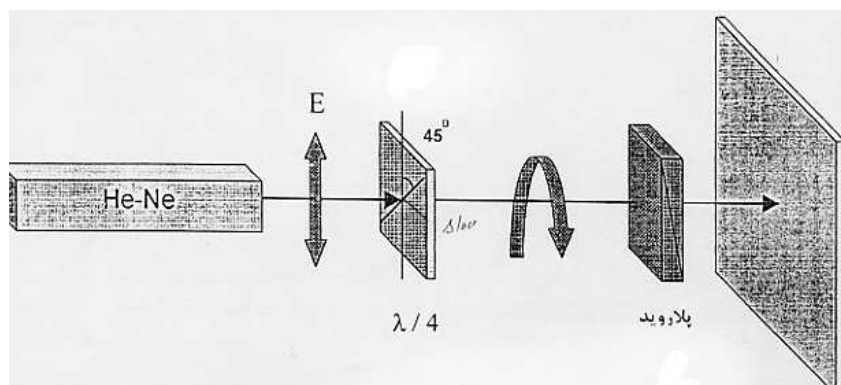
آزمایش - تولید نور قطبیده با قطبش خاص:

وسایل آزمایش: منبع نور سفید، تیغه $\lambda/4$ ، پلارید و پرده سیاه.

در اینجا می‌خواهیم نور قطبی با قطبش دایروی و یا بیضوی درست کنیم. برای انجام این کار ما نیاز به نوری با قطبش خطی داریم. در این آزمایش از یک لیزر هلیوم-نئون به عنوان چشمه‌ی نور استفاده می‌کنیم. برای این کار از یک پلارید استفاده می‌کنیم. برای به دست آوردن محور پلارید می‌آییم و به نور بازتابیده شده از یک سطح نگاه می‌کنیم. پلارید را آنقدر می‌چرخانیم که نور عبوری از آن کمینه شود. در این حالت محور پلارید عمود بر زاویه‌ای است که داریم با آن به نور بازتابی نگاه می‌کنیم. حال اگر این پلارید را مقابل باریکه ورودی قرار دهیم، یک نور قطبیده خطی داریم. حال پس از

این یک پلارید دیگر قرار می‌دهیم و در نهایت نیز از یک پرده‌ی مات استفاده می‌کنیم. پلارید دوم را آنقدر می‌چرخانیم تا نور روی صفحه کمینه شود. در این حالت دو پلارید عمود بر هم داریم.

برای ایجاد نور قطبی دایره‌ای می‌آییم و از یک تیغه $\lambda/4$ استفاده می‌کنیم. برای این کار تیغه را آنقدر می‌چرخانیم تا شدت دوباره کمینه شود. در این حالت محور اپتیکی تیغه موازی یا عمود بر محور پلارید است و زاویه محور تیغه را 45 درجه می‌چرخانیم، بسته به اینکه نسبت به محور سریع به سمت راست یا چپ بچرخانیم، نور قطبی دایره‌ای راست‌گرد و چپ‌گرد به دست می‌آوریم. برای اطمینان نباید با چرخاندن پلارید شدت نور تغییر کند. اگر زاویه بین 0 و 45 درجه باشد، نوری با قطبش بیضوی تولید می‌شود. خروج از محور بیضی برابر با تانژانت زاویه تیغه است.



شکل 27: طرح‌واره تولید نور قطبی با قطبش دایروی با تیغه $\lambda/4$ (7).

تحلیل آزمایش، نتیجه‌گیری و منابع خطا:

از جمله منابع خطا در این آزمایش چرخاندن به اندازه‌ی 45 درجه می‌باشد. زیرا دقت ما در این امر بسیار پایین بود و از نقاله‌های معمولی که میزان خطای روی آن 1 درجه می‌باشد استفاده کردیم.

از دیگر منابع خطا می‌توان به خود پلارویدها اشاره کرد که ممکن است دقیق نباشند. و هم چنین گونیا نبودن آزمایش که باعث می‌شود نور موازی به اجزا نرسد.

پاسخ به پرسشها:

پرسش - این تیغه‌های فازی چه اثری بر روی یک نور قطبیده خطی که از آنها عبور کند می‌گذارد؟ چگونه؟ تحت چه شرایطی؟

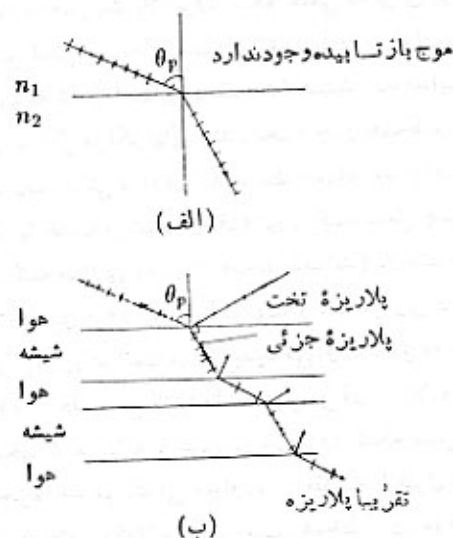
حل: اگر یک نور با قطبش خطی به یک تیغه $\frac{\lambda}{4}$ برخورد به طوریکه، θ ، زاویه بردار قطبش و محور سریع تیغه، 45 درجه باشد، در اینصورت قطبش خطی به دایروی تبدیل می‌شود. زیرا در این تیغه اتفاقی که می‌افتد این است که یک اختلاف فاز 90 درجه‌ای بین مولفه‌های سریع و کند بوجود می‌آورد.

پرسش - چگونه می‌توان راستای محور پلاریز را به کمک قانون بروستر بدست آورد؟

حل: فرض می‌کنیم که بردار الکتریکی وابسته به موج فرودی، مطابق شکل زیر الف در صفحه‌ی تابش قرار داشته باشد. اگر زاویه‌ی فرود (θ) چنان باشد که

$$\theta = \theta_p = \tan^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

در این صورت ضریب بازتاب صفر است. بنابراین، هرگاه باریکه‌ی غیر پلاریزه‌ای تحت این زاویه فرود آید، باریکه‌ی بازتابیده پلاریزه‌ی خطی است و بردار الکتریکی آن بر صفحه‌ی تابش عمود خواهد بود (شکل زیر ب). معادله‌ی بالا را قانون بروستر می‌نامند و تحت این زاویه‌ی تابش پرتوهای بازتابیده و عبوری بر هم عمودند. زاویه‌ی θ_p به زاویه‌ی پلاریزه کننده یا زاویه‌ی بروستر معروف است.



شکل 28. پلاریزاسیون بر اثر بازتاب (3).

پرسش - چرا و چگونه؟

حل: تیغه‌های $\frac{\lambda}{4}$ یک محور سریع دارند و یک محور کند. این دو محور عمود بر هم هستند. تیغه باعث می‌شود که اختلاف فاز 90 درجه بین این دو مولفه بوجود آید. اگر زاویه بین E و محور سریع 45 درجه باشد بنابراین، این دو مولفه دارای یک اندازه می‌باشند. اختلاف فاز هم که 90 درجه است، بنابراین نور قطبیده‌ی دایروی داریم.

پرسش - ساز و کار تیغه باینه را شرح دهید.

حل: جریان کننده وسیله‌ای نوری است که می‌تواند قدرت پس‌افت قابل کنترلی بر روی موج اعمال کند. بر خلاف صفحه موج که در اختلاف فاز ثابت است، اختلاف فاز ناشی از جبران کننده می‌تواند به طور پیوسته تغییر کند. جبران کننده باینه از دو گوه کلسیتی یا کوارتزی مستقل از هم تشکیل شده است. پرتویی که به طور عمودی و به سوی پایین و در نقطه‌ای اختیاری می‌گذرد، ضخامت d_1 را در گوه بالایی و ضخامت d_2 را در گوه پایینی خواهد پیمود. اختلاف فاز نسبی که توسط بلور اول در موج ایجاد می‌شود $\frac{2\pi d_1(n_o - n_e)}{\lambda_0}$ است در حالی که بلور دوم اختلاف فاز نسبی $-\frac{2\pi d_2(n_o - n_e)}{\lambda_0}$ را ایجاد می‌کند. بنابراین اختلاف فاز کلی عبارت است از:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda_0} (d_1 - d_2)(n_o - n_e)$$

در مرکز، آنجا که $d_1 = d_2$ است، اثر یک گوه دقیقاً توسط اثر گوه دیگر خنثی می‌شود و برای تمامی طول موجها، $\Delta\phi = 0$. پس‌افت در نقاط مختلف سطح متفاوت است، در نواحی باریک که پهنای جبران‌کننده در امتداد آن قرار می‌گیرد و ضخامتهای گوه خود ثابت هستند ثابت می‌ماند. اگر نور از شکافی موازی یکی از این نواحی وارد شود، و اگر در آن صورت یکی از دو گوه را با یک پیچ ریزسنگ به طور افقی حرکت دهیم، می‌توانیم هر اختلاف فازی که بخواهیم درست کنیم.

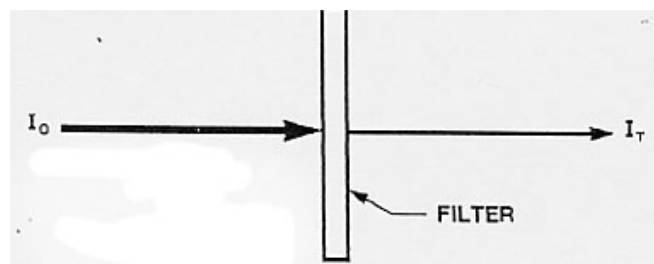
عنوان آزمایش: کار با پالایه خنثی چگالی

چکیده:

پالایه‌های خنثی چگالی (NDF) کاربردهای فراوانی از قبیل کاهش شدت نور فرودی بر روی آشکار سازها، جداسازی باریکه‌ی نوری، کالیبره کردن اسپکتروفوتومترها و ... دارند. این پالایه‌ها به این دلیل خنثی نامیده می‌شوند که تنها شدت را کاهش می‌دهند و تاثیری بر دیگر ویژگی‌های نور عبوری از قبیل قطبش و یا رنگ آن ندارند.

مقدمه و تعریف صورت مسئله:

کمیت فیزیکی‌ای که به عنوان پارامتر اصلی در رابطه با جذب و کاهش شدت نور اندازه‌گیری می‌شود، چگالی اپتیکی است که با D نشان داده می‌شود. این پارامتر بر حسب T ، کدری یک محیط اپتیکی، یعنی نسبت شدت باریکه‌های عبوری به فرودی تعریف می‌شود (ر.ک. شکل زیر).



شکل 29. پالایه خنثی چگالی (7).

$$D = \log_{10} \left(\frac{I_0}{I_T} \right)$$
$$T = \frac{I_T}{I_0}$$

هر چقدر D بیشتر باشد نور به میزان کمتری از محیط عبور می‌کند. این نکته قابل توجه است که D جمع‌پذیر است. اگر مجموعه‌ای از یک سری پالایه پشت سر هم در مسیر یک باریکه‌ی نور قرار گیرند، آن‌گاه چگالی مجموعه برابر با جمع چگالی تک تک آن‌ها است. در NDF برای تمام محدوده‌ی طیف امواج الکترومغناطیسی جذب یکسانی وجود دارد.

$$D = \log \left(\frac{I_0}{I_1} \right) = \log \left(\frac{I_0 I_2}{I_1 I_2} \right) = \log \left(\frac{I_0}{I_2} \frac{I_2}{I_1} \right) = \log \left(\frac{I_0}{I_2} \right) + \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right) = D_1 + D_2$$

به دو گونه می‌توان NDF ساخت. اول به صورت شیشه‌هایی که خودشان دارای D ثابتی هستند و به شیشه‌ی خنثی معروف‌اند. روش دوم به صورت لایه‌های نازک فلزی (معمولاً از پلاتین) که روی یک زیر لایه‌ی شفاف نشاندۀ شده‌اند.

توضیح چگونگی و شرح مراحل مختلف کار:

وسایل لازم: لیزر دیودی، پالایه خنثی 0.1 و 0.3، آشکار ساز اندازه گیری شدت

در این آزمایش با پالایه‌های خنثی چگالی سروکار داریم. در اینجا از یک لیزر هلیوم-نئون استفاده می‌کنیم. برای خواندن شدت از توان سنج که آن را دقیقاً در جلوی باریکه می‌گذاریم استفاده می‌کنیم. در اینجا فاصله‌ای را که در نظر می‌گیریم در حدود 25 سانتی متر است. شدت اولیه را با I_0 نشان می‌دهیم. حال یک پالایه خنثی با $D = 0.1$ را مقابل باریکه قرار می‌دهیم و شدت را می‌خوانیم. این شدت را با I_1 نشان می‌دهیم. برای I_0 و I_1 خواهیم داشت

$$I_0 = 2.4(\mu W), I_1 = 1.66(\mu W)$$

بنابراین چگالی اپتیکی آن در این حالت می‌شود:

$$D_2 = \log(2.4/1.66) = 0.160$$

حال همین کار را برای پالایه‌ای که D آن 0/3 است تکرار می‌کنیم. در این حالت برای I_2 داریم

$$I_2 = 1.2(\mu W)$$

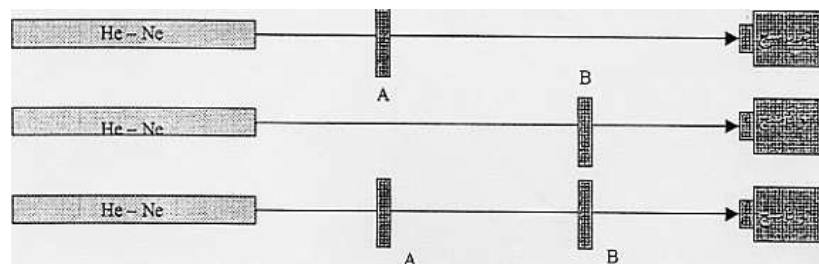
بنابراین برای چگالی اپتیکی خواهیم داشت

$$D_2 = \log(1.2/2.4) = 0.301$$

یکبار دیگر مطابق شکل هر دو پالایه را پشت سر هم قرار می‌دهیم. و شدت را می‌خوانیم (I_s). چگالی اپتیکی در این حالت (D_s) می‌باشد. نتایجی که به دست آوردیم به صورت زیر است.

$$I_s = 0.978(\mu W) \Rightarrow D_s = \log(0.978/2.4) = 0.38$$

می‌بینیم که مقدار بدست آمده برای D_s خیلی به مقدار مجموع D_1 و D_2 نزدیک است.



شکل 30: جمع پذیری چگالی اپتیکی (7).

تحلیل آزمایش، نتیجه‌گیری و منابع خطا:

نتیجه‌ی اصلی که از این آزمایش می‌توان گرفت این است که در مورد پالایه‌های خنثی چگالی اپتیکی یک کمیت جمع‌پذیر است. بدین معنا که اگر مجموعه‌ای از یک سری پالایه پشت سر هم در مسیر یک باریکه‌ی نور قرار گیرند، آن‌گاه چگالی مجموعه برابر با جمع چگالی تک تک آن‌ها است. این مطلب را می‌توان بوسیله‌ی روابط زیر اثبات کرد.

$$D = \log\left(\frac{I_0}{I_1}\right) = \log\left(\frac{I_0 I_2}{I_1 I_2}\right) = \log\left(\frac{I_0}{I_2} \frac{I_2}{I_1}\right) = \log\left(\frac{I_0}{I_2}\right) + \log\left(\frac{I_2}{I_1}\right) = D_1 + D_2$$

از جمله منابع خطایی که می‌توان در اینجا به آن اشاره کرد وجود نورهای اضافی در محیط می‌باشد. از جمله موارد دیگر خطا که می‌توان به آن اشاره کرد استفاده‌ی نادرست از آشکار ساز می‌باشد، زیرا این مهم است که با چه زاویه‌ای به درون آشکار ساز برود، چون ممکن است که میزانی از نور به جای برخورد با سنسور به دیواره‌های آن برخورد کند.

عنوان آزمایش: عکاسی سیاه و سفید

چکیده:

تقریباً تمامی فیزیکدانان تجربی، گذشته از این که در چه گرایشی کار می کنند، در بعضی از آزمایش های خود احتیاج به عکسبرداری از پدیده ی مورد نظر و ثبت اطلاعات به صورت تصویری پیدا می کنند. به خاطر بالا بودن قدرت تفکیک فیلم های عکاسی نسبت به روش های الکترونیکی مدرن، این روش کلاسیک ثبت تصویر هم چنان اهمیت و قابلیت خود را حفظ نموده و جانشینی پیدا نکرده است. بنابراین در این بخش با عکاسی سیاه و سفید و روش های ظهور و چاپ نگاتیو و عکس آشنا خواهیم شد.

سوژه های عکس برای قسمت های اول و دوم این بخش به گونه ای طراحی شده اند تا علاوه بر آموزش چاپ عکس، آزمایشگر با چند قطعه ی اپتیکی و روش آزمایشی دیر نیز آشنا شود.

مقدمه و تعریف صورت مسئله:

ظهور :

فیلم های عکاسی از مخلوط برومور نقره در محلولی ژلاتینی بدست می آید . در هنگام گرفتن عکس مقداری نور وارد دوربین میشود و بر روی فیلم اثر میگذارد (تصویر نامرئی) که برای دیدن این تصویر ، باید آن را با استفاده از محلول های ظهور، ظاهر کرد. برای بهتر کردن نتیجه باید عوامل زیادی را در این کار در نظر گرفت.

داروی ظهور فقط بر آن دسته از املاح بلوری شده ی نقره که نور خورده اند ، اثر می گذارد و آنها را تبدیل به نقره می کند. (احیا شدن)؛ قسمتی از فیلم که نور خورده ، بعد از فرایند ظهور سیاه تر می شود (احیای برومور نقره به نقره) و نقره بر روی فیلم باقی می ماند و بروم در محیط آزاد می شود. برای بهتر کردن نتیجه باید شرایط زیر را برای ظهور مهیا کرد:

- داروی ظهور باید استاندارد باشد و از درجه خلوص کافی برخوردار باشد.
- درجه حرارت و ترتیب حل کردن مواد شیمیایی مهم است.
- برای استفاده از داروی ظهور باید دمای آن دمای اتاق باشد.
- در هنگام کار با داروی عکاسی باید آن را به آرامی بهم زد تا کف نکند.

حساسیت:

در مقابل مقدار معینی نور، فیلمی که بیشتر واکنش نشان میدهد ، حساستر است. به عبارت دیگر فیلمی که بیشترین سیاهی را پس داده حساس تر است. اگر زمان نور دهی کم باشد ، بخشی از اطلاعات فیلم از بین می رود (ظاهر نمیشود) و اگر این زمان بیش از اندازه باشد قسمتهای کمتر نور دیده نیز تاریک می شود ، به اصطلاح فیلم خفه میشود. از

آنجائیکه لایه‌ی حساس به نور در روی لایه‌ای از ژلاتین قرار دارد، برای آنکه داروی ظهور بتواند خوب عمل کند باید فیلم خیس بخورد تا ژلاتین پف کند. واحدهای اندازه‌گیری حساسیت ASA, DIN, BS است.

منحنی سانسیتومتری (حساسیت سنجی):

برای بررسی ویژگی‌های فیلم خام، از منحنی سانسیتومتری (حساسیت سنجی) استفاده می‌کنیم که این منحنی نشان می‌دهد که در برابر مقادیر مختلف و متغیر نور دهی، چه مقدار سیاهی به وجود می‌آید و نسبت افزایش درجات خاکستری چقدر است. اگر شدت نور فرودی به فیلم I_1 و سیاهی یا چگالی فیلم D باشد، مقدار نورعبوری تا اندازه‌ی I_2 کاهش می‌یابد. رابطه‌ی این کمیت به صورت زیر است:

$$D = \log\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$$

منحنی حساسیت سنجی، منحنی تغییرات D بر حسب $\log I_1$ است و چگالی، میزان سیاه شدن فیلم تحت نور دهی با شدت معین و در مدت زمان معین است. حاصلضرب شدت نور در زمان نوردهی را میزان نور دهی یا (Exposure) می‌گویند و با $H=I.t$ نشان می‌دهند.

ساختمان تصویر :

اجزا تشکیل دهنده‌ی تصویر دانه‌های سیاه رنگ و بسیار ریز نقره هستند. هر قدر این دانه‌ها ریزتر باشند، تصویر بدست آمده واضح‌تر خواهد بود. در اصطلاح عکاسی به این دانه‌ها گرین می‌گویند.

اثر داروی ظهور بر روی این دانه‌ها به این صورت است که این دارو اثر یکسانی بر روی تمامی سطوح منشورهای بلورین ندارد بلکه این اثر نخست از محلی معین شروع شده و عمل احیا شدن برای تمامی میکرو بلورهای فیلم رخ میدهد و عمل احیا صورت می‌گیرد، و به نقره‌ی سیاه رنگ تبدیل می‌شوند.

ذرات ظاهر شده‌ی تصویر، اندازه و مختصات نامنظمی دارند و از اندازه‌ی ذرات اصلی در امولسیون بزرگتر است. هرچه عمل ظهور بیشتر ادامه پیدا کند بخش بیشتری از میکرو بلورها سیاه می‌شوند.

هر چه دانه‌های تشکیل دهنده‌ی تصویر درشت‌تر و بزرگتر باشند، جزئیات تصویر و خطوط موجود در آن محوتر و مخلوط می‌شوند. اما هر چه دانه بندی فیلم ریزتر باشد این گونه خطوط اطلاعات جزئی، بطور مجزا و تفکیک پذیر قابل دیدن می‌شوند این پدیده را قدرت تفکیک می‌نامند.

قدرت تفکیک جزئیات تصویر برای یک فیلم عکاسی به عوامل زیر بستگی دارد:

- ضخامت امولسیون.
- اندازه‌های دانه‌های املاح متبلور نقره.
- قدرت عملکرد داروی ظهور.
- اپتیک سیستم ثبت تصویر.

وقتی یک باریکه‌ی نور به سطح امولسیون برخورد می‌کند، تا عمق آن نفوذ می‌کند. سپس از طرف دیگر فیلم بازتاب پیدا می‌کند و به این گونه سایه و نیم سایه‌هایی در اطراف نقطه‌ی فرود باریکه، شبیه به هاله، پدید می‌آید. برای رفع این اشکال یک لایه موسوم به پالایه‌ی جذب‌کننده‌ی نور در پشت فیلم یعنی روی پایه (همان تلقی که ژلاتین بر روی آن قرار دارد) اندود می‌کنند.

ساختمان، لوازم و داروهای تاریک‌خانه

قبل از هر چیز یک تاریک‌خانه باید تاریک باشد. هرگونه نور خارجی که به داخل آن نفوذ کند مفهوم حقیقی آن را از بین می‌برد، و در آن نمی‌توان نتایج مفیدی گرفت. از شرایط دیگر حجم آن است. از نظر ابعاد باید به اندازه‌ی مورد احتیاج باشد. یعنی اگر فقط برای یک نفر در نظر گرفته می‌شود، حداقل بایستی گنجایش سه نفر را داشته باشد و ارتفاع آن نیز کم نباشد.

میز کار باید طوری ساخته شود که ایستاده بتوان روی آن کار کرد. سطح میز به اندازه‌ی طشتک‌ها و ظروف لازم ساخته می‌شود. قفسه‌ها به دو دسته تقسیم می‌شود: قفسه‌ی داروهای خشک و قفسه‌ی داروهای محلول. این قفسه‌ها باید مجاور میز کار باشد. یک قفسه‌ی در دار بدون درز و محفوظ از نور برای حفظ و نگهداری کاغذها و سطوح حساس عکاسی لازم است. یک میز سرتاسری در کنار تاریک‌خانه نصب می‌شود تا دستگاه‌های خشک‌کن، برش و سایر وسایل روی آن گذاشته شود. اگر ساختمان تاریک‌خانه طوری باشد که در مواقع لزوم هوا بتواند در آن جریان داشته باشد مناسب‌تر است، زیرا پس از مدتی کار در تاریک‌خانه هوای آن فاسد شده و غیر قابل تنفس است.

نکاتی چند در مورد روشنایی و برق تاریک‌خانه

- یک لامپ 25 وات یا قرمز یا نارنجی برای هنگام چاپ یا آگراندیسمان عکس‌ها.
- یک لامپ 40 وات برای روشن کردن محل کار، قبل و بعد از اتمام عمل.
- چند پریز برق در نقاط مختلف: کنار دستگاه چاپ، کنار دستگاه آگراندیسور، در محل خشک‌کن و یک پریز اضافی.
- فیوز مخصوص قطع و وصل جریان برق داخل تاریک‌خانه. در صورتی که سیم‌کشی به صورت کابل نباشد، بایستی منظم و به وسیله‌ی سیم‌های پلاستیکی سیم‌کشی شود.
- محل لامپ قرمز یا نارنجی در بالای میز کار و در مجاور طشتک‌های داروهای محلول است.

لوازم لابراتوار عکاسی

لوازمی که برای هر تاریک‌خانه، در اولین باری که مورد استفاده قرار می‌گیرد، ضروری است عبارت‌اند از:

- دستگاه چاپ
- دستگاه آگران‌دیسور.
- یک ترازوی کوچک و دقیق برای توزیع داروها با وزنه‌های مختلف.
- چهار طشتک کوچک لعابی کائوچویی به اندازه‌ی مناسب.
- یک استوانه‌ی فلزی یا شیشه‌ای به حجم حداقل 100 سی‌سی.
- شش بطری به ظرفیت یک لیتر به رنگ قهوه‌ای یا تیره.
- حرارت‌سنج برای تعیین گرمای داروها.
- دماسنج برای سنجش گرمای داخل تاریک‌خانه.
- دو یا سه عدد پنس انبری شکل یا گیره‌ی مخصوص عکس.
- یک قیف شیشه‌ای، لعابی یا کائوچویی.
- چهار طشتک بزرگ لعابی برای آگران‌دیسمان عکس‌ها به اندازه‌ی مورد لزوم
- دستگاه کاش برای کادربرداری عکس در زیر چاپ
- دستگاه خشک‌کن و برش عکس‌ها

داروهای عکاسی

داروهای عکاسی، مواد شیمیایی مختلفی هستند که برای ظهور و ثبوت فیلم‌ها، شیشه‌ها و کاغذهای عکاسی به نسبت معین با هم ترکیب می‌شوند. این داروها از نظر نوع عمل و فعل و انفعالاتی که روی سطح حساس انجام می‌دهند به سه دسته تقسیم می‌شوند.

1. دارای ظهور: که عمل ظاهر کردن تصویر مخفی را انجام می‌دهد.
2. داروی توقف: که عمل ظهور را متوقف می‌کند.
3. داروی ثبوت: سطح حساس را بعد از ظهور در برابر نورهای دیگر محفوظ نگه می‌دارد.

حال طریقه‌ی عمل هر یک از این داروها را بررسی می‌کنیم:

داروی ظهور: هنگامی که فیلم در دوربین نور می‌بیند، مقداری از املاح نقره‌ی سطح متأثر می‌شوند. هنگام ظهور، این املاح را تجزیه می‌نمایند و بدین ترتیب فیلم ظاهر می‌شود. لیکن هنوز تصویر کامل نشده و در برابر نورهای اضافی ضایع می‌شود. داروهایی که عمل ظهور را انجام می‌دهند عبارت‌اند از متول، هیدروکینون، گلیسین، پیروگالول و غیره. عمل شیمیایی این داروها این است که مقدار نقره‌ی فیلم یا کاغذ عکاسی را کاهش می‌دهند. به عبارت دیگر آن‌چه را که در برابر نور قرار گرفته است را در خود حل کرده تغییر رنگ می‌دهند.

اما تنها این عملِ دارویِ ظهور کافی نیست، زیرا دارویِ مذبور فاسد و غیر قابلِ استفاده می‌شود. داروهایِ محافظ این عمل را انجام می‌دهند. داروهایِ محافظِ عبرت‌اند از سوافیتِ دوسود و امثالِ آن. نمکِ قلیایی در ظهور عمل را تشدید می‌نماید و وجودش در یک دارویِ ظهور لازم است. از انواعِ این نمکِ کربناتِ سدیم، پتاسِ سوزاننده، براکسِ کدالک و غیره را می‌توان نام برد. دارویی که عملِ ظهور را تعدیل می‌کند یعنی باعثِ تدریجی بودنِ فهل و انفعالِ ظهور می‌گردد، نمکی است مانندِ برومورِ پتاسیم.

دارویِ توقف: وقتی عملِ ظهور به حدِ کفایت رسید، یعنی تصویرِ نرمال و متعادل به دست آمد، اگر سطحِ حساس را از دارو خارج کنیم، تا مدتی پس از آن، داروها به تاثیرِ خود ادامه می‌دهند و عملِ ظهور همچنان ادامه پیدا می‌کند. برای جلوگیری از ادامه‌ی عمل، دارویِ توقف به کار می‌برند. دارویِ توقف عبارت است از محلولِ بسیار رقیقِ اسید استیک که دارویِ ظهور را خنثی کرده، فعل و انفعالِ ظهور را متوقف می‌نماید.

دارایِ ثبوت: دارویی که باید عملِ ظهور را تکمیل کند یعنی فیلم را در برابرِ نورِ مصون بدارد. دارویِ ثبوت نام دارد. زیرا اگر پس از ظهور و توقف سطحِ حساس را در برابرِ نور قرار دهید به تدریج سیاه می‌شود. دلیلِ این تغییرِ رنگ این است که باقی‌مانده‌ی املاحِ نقره که روی سطحِ حساس، پس از ظهور وجود دارد، در اثرِ برخوردِ نور سیاه می‌شود. دارویِ ثبوت محلولِ رقیقِ هیپو سولفیتِ سدیم است که کمی متابی سوافیتِ سدیم برای جلوگیری از سیاه شدنِ املاح به آن اضافه می‌کنند.

ظهورِ فیلم در تانک

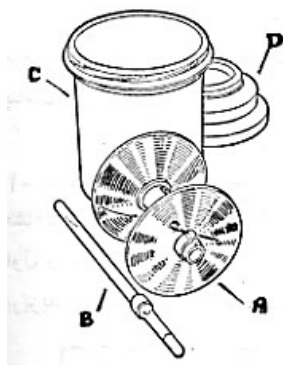
مطابق شکل زیر تانک ظهور فیلم از چهار قسمت تشکیل شده است:

الف- حلقه‌ی جای فیلم

ب- دسته‌ی گردان

ج- محفظه‌ی تانک

د- درِ تانک



شکل 31: ظهور فیلم در تانک (6).

ابتدا در تاریک‌خانه فیلم را به داخل شیارهای قطعه‌ی (A) بیچانید. قطعه‌ی (A) را درون تانک (C) گذارده، دسته‌ی (B) را در داخل حلقه‌ی (A) قرار دهید و در تانک (D) را ببندید.

حال می‌توانید بقیه‌ی اعمال را در روشنایی انجام دهید. پس از شستشوی فیلم با آب، داروی ظهور را درون تانک بریزید و مدت هفت دقیقه به وسیله‌ی دسته‌ی گردان (B) فیلم را در داخل تانک بگردانید. پس از آن تانک را خالی کرده پر از آب کنید. فیلم را بشویید و دو مرتبه آب را خارج کنید. بعد از شستشو با آب می‌توانید محلول توقف را به کار برید.

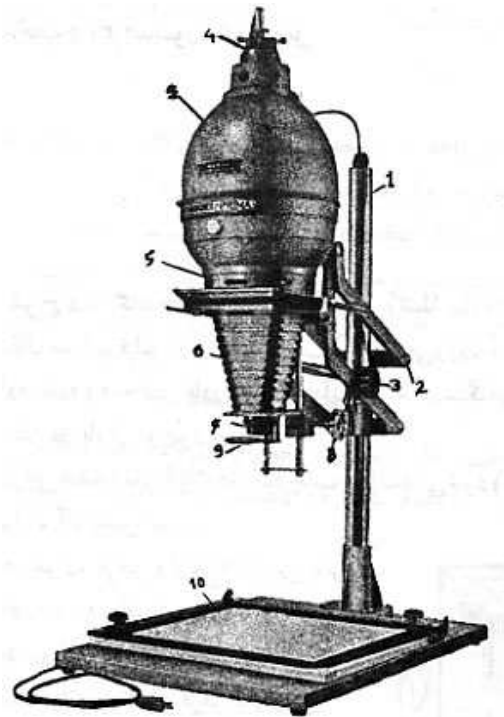
پس از شستشوی مجدد، محلول ثبوت را وارد تانک کنید و مدت 5 الی 10 دقیقه فیلم را داخل آن بگردانید. آنگاه سرپوش تانک را برداشته، فیلم را خارج کرده در آب جاری بشویید. نشانه‌ی ثبوت کامل فیلم آن است که کناره‌های فیلم شفاف باشد، در غیر این صورت ثبوت ناقص است. مدت ثبوت برای داروی تازه 5 دقیقه و به تدریج زیادتر می‌شود تا 10 دقیقه که بیش از این دارو فاسد شده است. وقتی فیلم را از محلول ثبوت خارج کردید باید مدت 20-30 دقیقه در آب جاری قرار دهید. فیلم را پس از این عملیات، در محلی که گرد و غبار و جریان شدید هوا نباشد نصب کنید.

سطوح دوگانه‌ی فیلم یا شیشه

یک قطعه فیلم خشک را بردارید و دو طرف آن را تماشا کنید. سطح آن را در برابر نور کمی حرکت دهید، متوجه می‌شوید که دو روی فیلم یکسان نیست. یک طرف فیلم یا شیشه کدر و طرف دیگر شفاف است. آن سطحی که شفاف است، به سبب امولسیون حساس روی فیلم است. همین سطح در دوربین در مقابل نور قرار می‌گیرد و هنگام چاپ یا آگراندیسمان هم باید این سطح به طرف بالا واقع شود. سطوح کدر فیلم یا شیشه به سبب جنس آن است و به همین جهت به صورت اولیه دیده می‌شود. این سطح هنگام چاپ یا آگراندیسمان باید به طرف پایین باشد.

شرح دستگاه آگراندیسور

1. میله‌ی دستگاه برای بالا و پایین بردن آگراندیسمان.
2. بازوی متحرک.
3. پیچ‌میزان برای محکم کردن بازوی 2.
4. لامپ
5. کندانسور (برای ایجاد نور یکنواخت).
6. فانوس دوربین.
7. مجموعه‌ی لنز و دیافراگم دوربین.
8. پیچ میزان دقیق برای وضوح نهایی.
9. شیشه‌ی قرمز رنگ.
10. کاش برای کادرگیری



شکل 32: دستگاه آگراندیسور (6).

طریقه‌ی عمل

تهیه و چاپ عکس در مراحل شش‌گانه‌ی زیر انجام می‌شود:

1. نور دادن به کاغذ عکاسی.
2. ظهور.
3. خنثی کردن اثر داروی ظهور.
4. ثبوت.
5. شستشوی نهایی.
6. خشک کردن عکس‌ها.

مدت نور دادن در موقع چاپ عکس و یا آگراندیسمان باید پیوسته طوری حساب شود که ظهور عکس در مدت معینی که جهت هر یک از داروهای منتخبه‌ی ظهور تعیین گردیده است، انجام شود و رعایت این اصل برای رسیدن به منظور و مخصوصاً برای به دست آوردن عمق رنگ‌های سیاه و هم‌چنین سفیدی نقاط روشن فوق‌العاده مهم است. زیرا که هرگاه نور زیادتر از حد لزوم داده شود و در نتیجه مدت ظهور کوتاه گردد، وقت کافی برای داروی ظهور باقی نخواهد بود که نقاط تاریک و سیاه عکس را کاملاً به منصفه‌ی ظهور برساند، در صورتی که هرگاه به کاغذ کم نور داده شود و مدت ظهور طولانی‌تر گردد درجات مختلف نورها و اختلاف بین رنگ‌ها کم شده عکس کم قدرت خواهد شد و هم‌چنین جهت به دست آوردن مایه‌ی صحیح رنگ عکس لازم است که مدت صحیح نور دادن به کاغذ عکاسی کاملاً رعایت گردد.

پس از آنکه عکس در داروی ظهور و روی کاغذ ظاهر شد باید تاثیر داروی ظهور روی کاغذ متوقف گردد. در غیر این صورت مخصوصا اگر در صورتی که درجه‌ی محلول دارو بالاتر از 20 و 22 درجه باشد ممکن است به سهولت معایبی در کار از قبیل لکه و یا پرده‌های زرد رنگ پیدا شده و عکس‌ها را غیر قابل استفاده نماید. جهت متوقف نمودن ظهور عکس بهترین طریق این است که عکس را پس از ظهور بلافاصله در محلولی که عبارت است از یک لیتر آب، 20 سی سی جوهر سرکه (که در صورت اجبار 40 گرم متابی‌سولفیت دو پتاس یا متابی‌سولفیت سدیم در آن حل شده باشد) قرار دهند. هرگاه تهیه‌ی محلول مذکور میسر نباشد و عکس‌ها را نتوانند در چنین محلولی قرار دهند ممکن است عکس‌ها را پس از ظهور مدت 1 ال 2 دقیقه در آب جاری بگذارند.

پس از آنکه عکس‌ها از محلول شستشو خارج شد، باید آن را در محلول دمای ثبوت قرار دهند. برای ثبوت کاغذهای عکاسی باید اصولا از محلول 20 درصد هیپوسولفیت سدیم که به وسیله‌ی متابی سولفیت دوسود یا متابی سولفیت دوپتاس دارای خواص ترشی شده استفاده نمود. در طول مدت ثبوت باید به دفعات عکس‌ها را در محلول تکان داد و مدت ثبوت در صورتی که دمای تازه استعمال شود، 2 ال 4 دقیقه و در صورت استعمال دمای کهنه 6 الی دقیقه خواهد بود.

پس از ثبوت باید عکس‌ها را مدت 30 ال 40 دقیقه در آب جاری و با تکان دادن و جابجا کردن آن‌ها شست و این مدت برای شستشوی نهایی در صورتی است که درجه‌ی آب از 13 ال 14 درجه‌ی سانتیگراد کمتر نباشد و در صورتی که درجه‌ی آب کمتر از 10 باشد، باید طول طول مدت شستشو را اقلا یک ساعت در نظر گرفت. برای خشک کردن عکس‌ها می‌شود از پرس‌های خشک‌کن که می‌توان آن‌ها را داغ نمود استفاده کرد. هرگاه نخواهند عکس‌ها خیلی براق شود ممکن است عکس‌ها را از طرف پشت یعنی از سمت کاغذ روی پرس قرار دهند و در این صورت بدون این‌که خیلی براق شود، خشک خواهند شد.

خصوصیات اعمال چاپ و آگراندیسمان

قبل از هر کار پس از تشخیص نوع فیلم، کاغذ مربوط به آن را در دسترس قرار دهید. موقع قرار دادن فیلم روی شیشه‌ی دستگاه باید طرف براق فیلم به طرف بالا باشد و سطح حساس و براق کاغذ به طرف پایین. ابتدا فیلم را قرار داده، کاش را روی آن میزان و سپس کاغذ را روی آن فیلم بگذارید و نور دهید. عملیات چاپ باید به ترتیب و به دقت انجام شود. در هنگام چاپ با آگراندیسمان فقط بایستی نور قرمز در تاریک‌خانه روشن باشد.

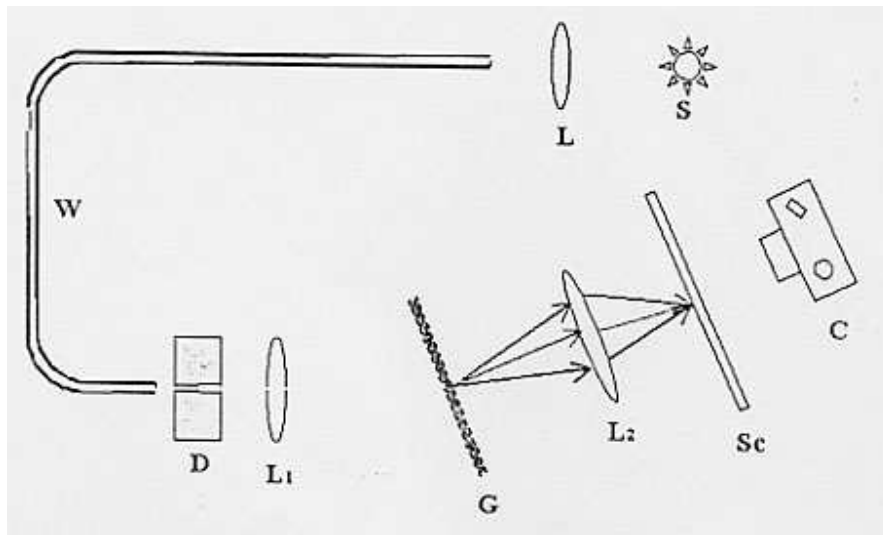
پس از آن‌که فیلم را در دستگاه قرار دادید، و وضوح نهایی را روی کاش به دست آوردید، کاغذ نمونه را زیر نور قرار دهید، دقت کنید وقتی می‌خواهید کاغذ را زیر کاش بگذارید یا باید چراغ را دستگاه خاموش باشد و یا شیشه‌ی قرمز جلوی لنز آن باشد. و به هر جهت قبل از دقت در زمان نور دادن نور سفید به کاغذ ننابد. کادر گیری در آگراندیسمان اهمیت بسزایی دارد، انتخاب کادر صحیح بستگی به نوع عکس و سلیقه‌ی عکاس دارد. برای آن‌که عکس‌ها به صورت صاف و یک شکل در بیایند، اگر همان‌طور که در محلول‌ها قرار دارند و خیس خورده‌اند، در جریان هوا و به حالت عادی خشک کنیم، به علت داشتن ژلاتین در سطح تصویر در هم پیچیده شده و تقریبا غیر قابل استفاده می‌شوند، لذا برای خشک کردن آن‌ها از دستگاه خشک‌کن استفاده می‌کنند.

توضیح چگونگی و شرح مراحل مختلف کار:

آزمایش - گرفتن عکس از طیف لامپ هالوژن:

وسایل آزمایش: منبع تغذیه، لامپ هالوژن، فیبر نوری روکش دار، سه عدسی همگرا به فاصله کانونی 50 (دو عدد) و 100 میلیمتر، توری پراش، پرده سفید

در این آزمایش جدای از اینکه با عکاسی آشنا می شویم هم چنین با فیبر نوری هم آشنا می شویم. هم چنین در کنار آن با توری پراش کار خواهیم کرد و طرز استفاده از آن را یاد خواهیم گرفت. شکل آزمایش در زیر آورده شده است. در این جا نور منبع توسط لنز L در ابتدای فیبر نوری جمع می شود. سپس این نور توسط فیبر به دیافراگم D منتقل می شود. در آنجا دوباره پرتو توسط عدسی L_1 موازی شده و نور موازی به طوری G می خورد. نور عبوری از توری توسط عدسی L_2 باز شده و تصویر روی پرده می افتد.



شکل 33: گرفتن عکس از طیف لامپ هالوژن (7).

آزمایش - ظهور و چاپ عکس:

وسایل آزمایش: ظرف مخصوص ظهور فیلم، داروی ظهور فیلم، داروی ظهور کاغذ، داروی ثبوت (مشترک برای کاغذ و فیلم)، گیره های جداگانه برای هر محلول، سه تشتک برا یظهور و چاپ عکس، آگران دیسمان که مجهز به فیلتر قرمز عکاسی باشد.

فیلم:

ابتدا باید فیلم را ظاهر کنیم. برای این کار در تاریکخانه در تاریکی مطلق، فیلم را از دوربین عکاسی بیرون می آوریم سپس آن را بدور قرقره مخصوص عکاسی (تانک) پیچیده و آن را درون تانک قرار می دهیم و در تانک را خوب می بندیم. در این مرحله تمام اجزای تانک و همچنین دست آزمایشر باید خشک باشد. بعد از ا کار محلول ظهور را به داخل تانک

می‌ریزیم. برای فیلم‌های سیاه و سفید معمولاً 5 دقیقه باید فیلم در محلول ظهور قرار بگیرد. البته بهتر است که قبل از مصرف ماده ظهور بروشور داخل آن خوانده شود. اگر در تانک به خوبی بسته شود، نور به داخل آن نفوذ نمی‌کند. بنابراین می‌توان چراغ را روشن کرد. پس از سپری شدن زمان ظهور داروی ظهور ر به داخل ظرف مخصوص آن برمی‌گردانیم و بلافاصله داخل تانک آب می‌ریزیم و آن را خوب تکان می‌دهیم و بعد آن را خالی می‌کنیم. این کار را سه بار تکرار می‌کنیم. سپس محلول ثبوت را داخل تانک می‌ریزیم و برای مدت زمان 10 دقیقه صبر می‌کنیم. در این مدت از تاریکخانه هارج می‌شویم تا چشمانمان کمی استراحت کند. البته در این فاصله چند بار تانک را تکان می‌دهیم. پس از گذشت 10 دقیقه داروی ثبوت را به داخل ظرف مخصوص آن برمی‌گردانیمو آب (که البته بهتر است آب مقطر باشد) به داخل تانک می‌ریزیم و مانند مرحله قبل آن را سه بار تکرار می‌کنیم. سپس آن را برای خشک شدن به بن د مخصوص آن در تاریکخانه آویزان می‌کنیم. باید توجه شود که از این لحظه تا خشک شدن کامل فیلم به هیچ وجه نباید دست بر روی فیلم گذاشته شود.

کاغذ عکاسی:

پس از اینکه فیلم خشک شد آن را ظاهر می‌کنیم. برای این کار آن را در دستگاه آگران ریسمان قرار می‌دهیم. ای دستگاه تصویر ثبت شده را بر روی پرده افقی خود می‌اندازد. از آنجاییکه کاغذ عکاسی سیاه و سفید به نور قرمز حساس نیست، چاپ عکس را می‌توان در زیر نور قرمز انجام داد. برای این کار دستگاه مجهز به یک فیلتر قرمز است که جلوی مسیر نور دستگاه قرار می‌گیرد. استفاده از نور قرمز کمک می‌کند تا قبل از انداختن تصویر روی کاغذ، اندازه و وضوح تصویر تنظیم شود. بعد از این مرحله چراغ دستگاه را خاموش می‌کنیم و فیلتر قرمز را از سر را چراغ بر می‌داریم. پس از تعیین زمان نوردهی کاغذ را نور می‌دهیم. در این آزمایش ما برای سه زمان مختلف 1 ثانیه، 2 ثانیه و 3 ثانیه به کاغذ نور دادیم که زمان 3 ثانیه مناسب‌ترین حالت بود.

حال با دیدن تصویر ثبت شده را بر روی کاغذ ظاهر و ثبت می‌کنیم. برای این منظور از پیش سه عدد تشتک مخصوص عکاسی را به این صورت آماده می‌کنیم که در اولی داروی ظهور و در دومی آب و در سومی داروی ثبوت باشد. برای راحتی و جلوگیری از اشتباه همیشه تشتکها را به ترتیب از چپ به راست می‌چینیم. برای هر تشتک باید گیره جداگانه استفاده شود.

کاغذ نور خورده را سریع در تشتک ظهور قرار می‌دهیم. این قسمت از عملیات را زیر نور قرمز انجام می‌دهیم. پس از قرار دادن کاغذ در تشتک ظهور آن را از یک سمت کمی به آهستگی به بالا و پایین می‌بریم تا تمامی کاغذ به طور یکنواخت با دارو در تماس باشد. کاملاً بر روی کاغذ داخل محلول دقیق می‌شویم و به محض ظهور تصویر و رسیدن به کیفیت مورد نظر عکس را با گیره مخصوص گرفته و آن را به داخل تشتک آب می‌اندازیم و خیلی سریع آن را شسته (حداکثر 5 تا 8 ثانیه) و بعد از این کار آن را پشت به رو به داخل تشتک سوم می‌اندازیم. این کار به این خاطر است که مواد اضافی که از روی کاغذ باید پاک شوند کاملاً از سطح جدا شوند. تمام عکس باید در دارو غوطه‌ور شود. در غیر این صورت پس از گذشتن چند رو زعکس زرد می‌شود. پس از یک دقیقه چراغ را روشن می‌کنیم تا کیفیت عکس را بررسی کنیم و بعد خاموش می‌کنیم. پس از زمان 10 دقیقه آن را برای 39 ثانیه زیر شیر آب سرد می‌گیریم و سپس حدود 20 دقیقه آن را در آب غوطه‌ور می‌کنیم. پس از گذشت این زمان دوباره آن را برای 30 ثانیه زیر شیر آب سرد می‌گیریم. بعد از اتمام این مراحل عکس را برای خشک شدن آویزان می‌کنیم.

تحلیل آزمایش، نتیجه‌گیری و منابع خطا:

در مورد اندازه‌گیری طیف لامپ هالوژن خطایی که می‌توان به آن اشاره کرد وجود ابیراهی در سیستم می‌باشد. از دیگر منابع خطا در این آزمایش نیز می‌توان به گونیا نبودن سیستم اشاره کرد. در مورد عکاسی نیز از جمله منابع خطا یکی اشتباهات خود شخص می‌باشد از جمله در میزان نگهداری فیلم در دایروهای مختلف و زمانبندی آن‌ها. همچنین فاسد و کهنه بودن داروها نیز ممکن است کیفیت کار را پایین بیاورد.

در آزمایش مربوط به آستیگماتیسم به جای کانونی دایروی، بیضی داریم. پرتوهایی که در صفحه عمودی قرار دارند زودتر کانونی می‌شوند. در نتیجه ما قبل از کانون بیضی به صورت بالا داریم. پرتوهایی که در صفحه افقی قرار دارند دیرتر کانونی می‌شوند در نتیجه اگر به شکل تصویر بعد از کانون نگاه کنیم بیضی داریم که عمود به بیضی قبلی است.

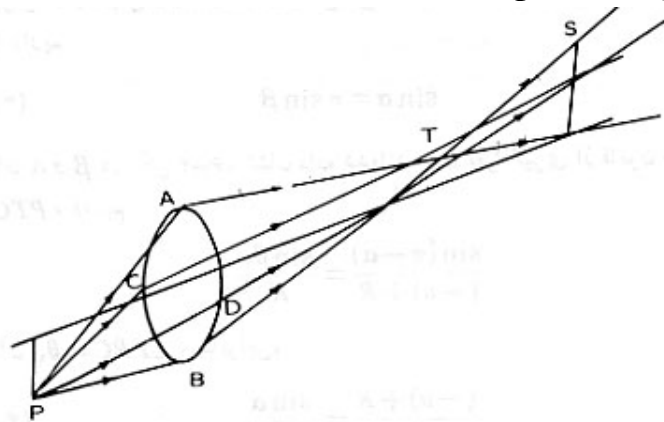
پاسخ به پرسشها:

پرسش - چرا به هم زدن داروهای عکاسی زمان لازم برای انجام کار را کاهش می‌دهد؟

حل: این کار باعث می‌شود که موادی که حل شده‌اند از روی سطح کنار روند و فرصت بیشتری برای دارو می‌باشد تا به سطح فیلم واکنش نشان دهد. بنابراین باعث افزایش سرعت واکنش می‌شود.

پرسش - چرا در پدیده آستیگماتیسم مقطع نور عبور کرده از عدسی به گونه‌ای که در پیش اشاره شد تغییر می‌کند؟

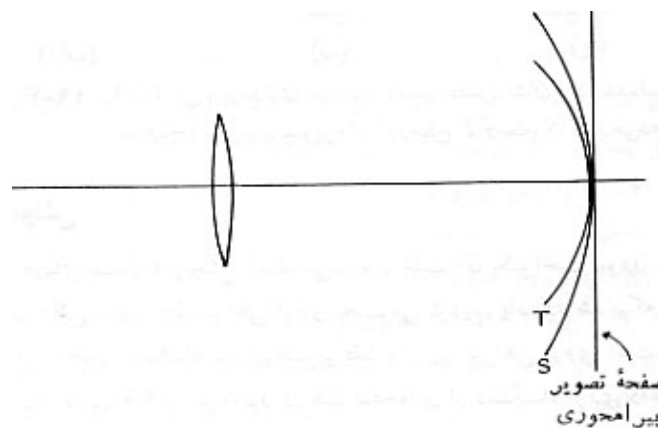
حل: وقتی که یک دستگاه نوری ابیراهی کروی و گُما نداشته باشد، این دستگاه برای نقاطی که روی محور یا نزدیک آن واقع باشند تصویر واضحی خواهد داشت. ولی برای نقاط دور از محور، تصویر یک نقطه، یک نقطه نخواهد بود و در این صورت گفته می‌شود که دستگاه نوری دارای آستیگماتیسم است. جسم نقطه‌ای P را دور از محور در نظر می‌گیریم. صفحه‌ای که شامل محور و جسم نقطه‌ای باشد، صفحه‌ی نصف‌النهار نامیده می‌شود و صفحه‌ی عمود بر صفحه‌ی نصف‌النهاری (که شامل محور باشد) صفحه‌ی پیکانی نام دارد. شکل زیر طرز تشکیل تصویر را وقتی که دستگاه نوری فقط دارای آستیگماتیسم است، نشان می‌دهد.



شکل 34: تشکیل تصویر در هنگام وجود آستیگماتیسم (3).

پرتوهای داخل صفحه‌ی نصف‌النهاری در مقایسه با پرتوهای داخل صفحه‌ی پیکانی در نقطه‌ی متفاوتی همگرا می‌شوند. مثلاً پرتوهای PA و PB در نقطه‌ی T و پرتوهای PC و PD در نقطه‌ی S که با T تفاوت دارد همگرا می‌شوند. چون در نقطه‌ی T پرتوهای داخل صفحه‌ی پیکانی هنوز کانونی نشده‌اند، در واقع یک خط کانونی وجود دارد که بر صفحه‌ی نصف‌النهاری عمود است. این خط کانونی T ی کانون مماسی نامیده می‌شود. به همین ترتیب، چون در S ، پرتوهای داخل صفحه‌ی نصف‌النهاری کانونی نیستند، یک خط کانونی به دست می‌آید که در صفحه‌ی مماسی قرار دارد. این خط، خط کانونی پیکانی نامیده می‌شود. فاصله‌ی بین S و T معیاری از آستیگماتیسم است.

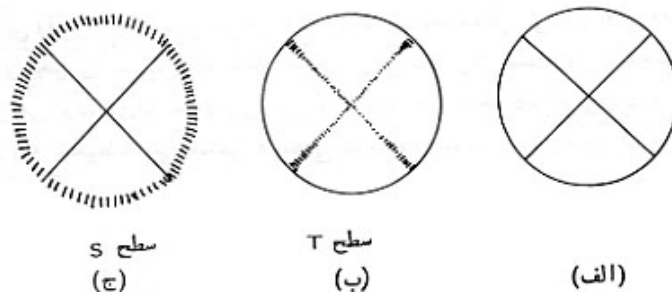
برای اینکه سرچشمه‌ی آستیگماتیسم را در یابیم، مشاهده می‌کنیم که برای نقطه‌ی روی محور (وقتی که عدسی فاقد سایر ابیراهی‌ها است) جبهه‌ی موج خارج شده از عدسی کروی است و بنابراین وقتی که جبهه‌ی موج پیش می‌رود، در یک تک نقطه همگرا می‌شود. ولی وقتی که جسم نقطه‌ای محوری نیست، جبهه‌ی موجی که خارج می‌شود کروی نیست و در نتیجه جبهه‌ی موجی که همگرا می‌شود، در یک نقطه کانونی نمی‌شود بلکه روی دو خط کانونی می‌شود که بر یکدیگر عمودند و خطوط کانونی مماسی و پیکانی نامیده می‌شوند. شکل تصویر در جایی بین دو خط کانونی دایره‌ای است و دایره‌ی با کمترین اغتشاش نامیده می‌شود.



شکل 35: کانون‌های مماسی و پیکانی (3).

فاصله‌ی بین کانون‌های مماسی و پیکانی با دور شدن جسم نقطه‌ای از محور افزایش می‌یابد. بنابراین، کانون‌های مماسی و پیکانی نقاطی که در فاصله‌های مختلف از محور قرار دارند مطابق شکل بالا بر دو سطح قرار دارند. وقتی دستگاه نوری بدون آستیگماتیسم نامیده می‌شود که دو سطح بر هم منطبق باشند. ولی حتی وقتی که دو سطح بر هم منطبق هستند فوری می‌توان دید که سطح تصویر نتیجه شده انحنای خواهد داشت. این نقص تصویر انحنای میدان نامیده می‌شود.

به عنوان مثالی از تشکیل تصویر در هنگامی که آستیگماتیسم وجود دارد، چرخ پره‌داری را مانند شکل زیر الف هم‌محور با محور عدسی در نظر می‌گیریم. چون تصویر چشمه‌ی نقطه‌ای در سطح T خطی عمود بر صفحه‌ی نصف‌النهاری است، در سطح T ، حاشیه‌ی چرخ به طور کامل واضح خواهد بود، در حالی که پره‌ها مانند شکل زیر ب واضح نیستند. به همین ترتیب چون تصویر جسم نقطه‌ای در صفحه‌ی S خطی واقع در صفحه‌ی نصف‌النهاری است، مطابق شکل زیر ج پره‌ها واضح‌اند، ولی حاشیه واضح نخواهد بود.



شکل 36: توضیح آستیگماتیسم (3).

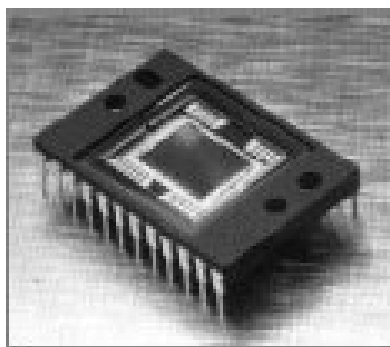
پرسش - چرا نور تابیده شده به عدسی باید موازی باشد؟

حل: زیرا ما می‌خواهیم در این جا یک پدیده‌ی خاصی رو بررسی کنیم و اگر نور موازی نباشد باعث بوجود آمدن دیگر ابیراهی‌ها می‌شود و دیگر آزمایش ما از دقت کافی برخوردار نیست.

عنوان آزمایش: آشنایی با دوربین‌های CCD

مانند خیلی از تکنولوژی‌ها CCD ها یک نوع اختراع کاملاً متفاوت هستند. CCD ها برای اولین بار در اواخر دهه‌ی 60 میلادی در آزمایشگاه بل ساخته شدند، که در واقع هدف ساختن در آن زمان به عنوان یک مدار حافظه‌ی کامپیوتری مطرح بود. پس از مدتی معلوم شد که CCD ها پتانسیل بسیاری کاربردهای دیگر از جمله پردازش اطلاعات و تصویر را هم دارند که توانایی پردازش تصویر در آنان به دلیل حساسیت سیلیکون به نور می‌باشد به طوریکه نسبت به طول موج‌های کوچکتر از 1.1 میلی‌متر از خود واکنش نشان می‌دهد.

مانند IC ها CCD ها نیز بر روی یک سری ویفرهای نازک سیلیکون قرار دارند و یک سری پایه نیز به آن‌ها متصل است که به یکسری مدار برای کارکردهای مختلف مرتبط می‌شوند (شکل زیر). روی هر ویفر دستگاه‌هایی قرار دارد که هر کدام توانایی ایفای نقش به عنوان یک دستگاه کاربردی و عملگری را دارند. انتخاب هر دستگاه به معنای باز شدن کانالی از ویفر و فرستادن برنامه برای انجام عملی خاص برای سیستم است.



شکل 37: نمایی از تراشه یک CCD (8).

مدل‌های مختلف CCD

پردازش تصویر می‌تواند به سه طریق اساسی انجام گیرد، اسکن نقطه‌ای، خطی و سطحی. CCD ها می‌توانند اسکن خطی و سطحی انجام دهند.

اسکن نقطه‌ای

در اینجا تنها از یک پیکسل استفاده می‌شود و برای دستیابی به اطلاعات سلول‌ها از مختصات ناپیوسته‌ی دکارتی مثلاً X و Y استفاده می‌کنند. از جمله مزیت‌هایی که این نوع دارد کیفیت بالا و یکنواختی تصویر می‌باشد، هم‌چنین هزینه‌ی این نوع اسکن کم است. البته این مدل بدیهی‌هایی هم دارد از جمله، خطاهای ثابتی که هنگام حرکت در راستای X و Y پدید می‌آید، سرعت نسبتاً کمی که در خواندن فریم‌ها وجود دارد و پیچیدگی که در سیستم وجود دارد به علت حرکت دو بعدی در راستای X و Y .

اسکن خطی

در این مدل یک آرایه‌ای از آشکارکننده‌ها را در یک ردیف پشت سر هم قرار می‌دهند، در این صورت به این طریق عمل اسکن کردن فقط در یک جهت امکان‌پذیر است. در این حالت خط اطلاعاتی که از یک مرحله به دست آمده است قبل از اینکه به خط جدید وارد شود توسط سیستم گرفته و بازخوانی می‌شود. از لحاظ فیزیک طول اسکنر CCD خطی بستگی به میزان ویفر سیلیکونی دارد که بکار رفته است. البته برای غلبه بر این محدودیت می‌توان چند تا آرایه از این CCD های خطی رو کنار هم چید که البته این باعث افزایش هزینه و هم چنین پیچیدگی سیستم می‌شود.

زمان اسکن کردن از طریق اسکن خطی خیلی بهتر از اسکن نقطه‌ای است. از جمله مزایای این سیستم کیفیت بالا و هم چنین مکانیزم اسکن ساده‌ای دارد. اگر چه در اینجا هم فضای سلول و اندازه‌ی آنان کیفیت را محدود می‌کند. دقت اندازه‌گیری پیکسل‌ها همگن و یک‌جور نیست و این مسئله‌ای است که باید توسط سیستم در نظر گرفته بشود. هم‌چنین در اینجا اگر چه سرعت اسکن نسبت به حالت نقطه‌ای بهتر است ولی باز هم برای بسیاری از کاربرد هم مناسب نیست. هم‌چنین هزینه‌ی این نوع سیستم نسبت به مدل نقطه‌ای بیشتر می‌باشد.

اسکن سطحی

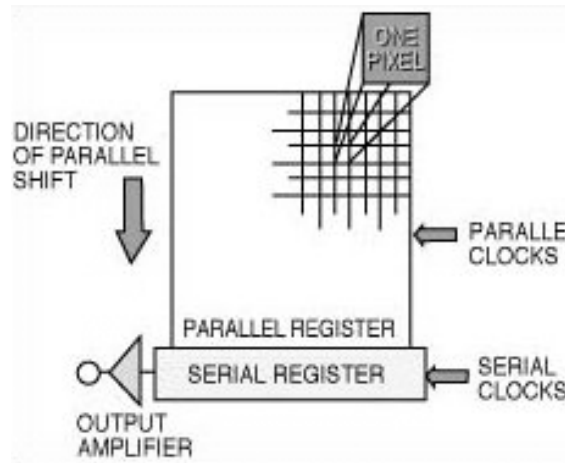
در اینجا می‌توانیم یک سری آرایه‌های دو بعدی به گونه‌ای بسازیم و بکار ببریم که در یک بار آشکار سازی تمامی اطلاعات مربوط به تصویر را بردارد. در این صورت، دیگر نیازی به حرکت آشکارساز و یا صفحه نداریم. با این روش می‌توانیم سرعت خیلی زیادی هم را با دقت بالای ثبت اطلاعا به دست آوریم. هم‌چنین این سیستم، سیستم پیچیده‌ای نیست. به هر حال کیفیت تصویر در اینجا محدود به دو بعد و ابعاد سیستم می‌شود. یکی از معایب آن هزینه‌ی بالایی است که اینجور سیستم‌ها دارند.

معماری CCD

معماری های مختلفی برای CCD وجود دارد. در مدل‌های Full-frame-transfer و Frame transfer از خازن‌های MOS به عنوان آشکارساز استفاده می‌شود. مدل‌های Interline transfer از فوتودیودها استفاده می‌کنند. در اینجا به این سه مدل اشاره می‌کنیم. البته معماری‌های دیگری هم از قبیل frame-interline transfer و accordion و charge injection و نیز وجود دارند.

معماری (FF) full-frame

CCD های از نوع FF ساده‌ترین نوع معماری را دارند و ساخت و تولید آنها نیز آسان است. این‌ها شامل shift register موازی و shift register سری برای CCD هستند. همچنین مجهز به آمپلی‌فایر برای سگنال خروجی نیز می‌باشند (ر.ک. شکل زیر).



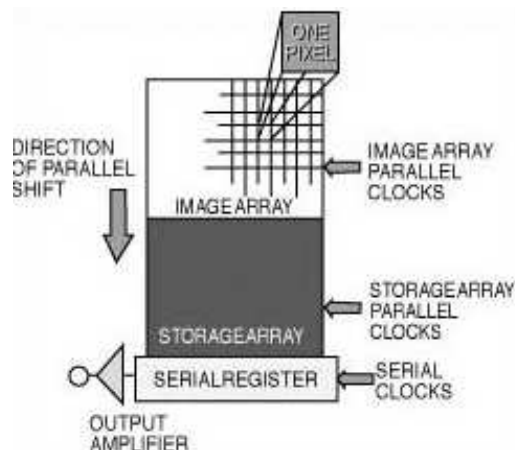
شکل 38: معماری FF (8).

اطلاعات مربوط به تصویر به صورت اپتیکی در آرایه‌های موازی قرار می‌گیرد که در واقع مانند صفحات تصویر عمل می‌کنند. دستگاه اطلاعات صفحه را می‌گیرد و تصویر را به اجزای ریزی تجزیه می‌کند به طوریکه با تعداد پیکسل‌های گسسته‌ی صفحه تعریف می‌شوند. این ردیف اطلاعاتی که از صفحه به دست می‌آید به صورت موازی به یک ثباتی که با دستگاه سری است فرستاده می‌شود، که این ثبات ردیف‌های اطلاعات را به صورت شاخه‌ی سری‌ای از داده‌ها انتقال می‌دهد. این فرایند تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که تمامی ردیف‌های اطلاعات از تراشه خارج شوند. پس از آن تصویر بوسیله‌ی اطلاعاتی که در اختیار سیستم است بازسازی می‌شود.

از آنجایی که ثبات موازی هم برای مرحله‌ی آشکارسازی و هم خواندن استفاده می‌شود نیاز به یک شاتر هم‌زمان کننده وجود دارد تا از درستی مرحله‌ها و اطلاعات مطمئن شویم. سادگی که در این نوع CCD ها وجود دارد باعث شده است که هم کیفیت بالا باشد و هم حجم کوچک باشد.

معماری (FT) Frame-Transfer

معماری که در اینجا استفاده شده است شبیه به معماری بالا است با این تفاوت که در اینجا یک ثبات موازی جداگانه وجود دارد که به آن آرایه‌ی ذخیره می‌گویند و نسبت به نور هم حساس نیست. (ر.ک. شکل زیر) ایده از اینجا می‌آید که بتوانند خیلی سریع اطلاعات به دست آمده از صفحه را به آرایه‌ی ذخیره منتقل کنند. به بیرون انتقال دادن داده‌ها از تراشه درست به مانند بالا است در حالیکه در اینجا در همان حین آرایه‌ی ذخیره در حال جمع‌آوری اطلاعات فریم جدید است.



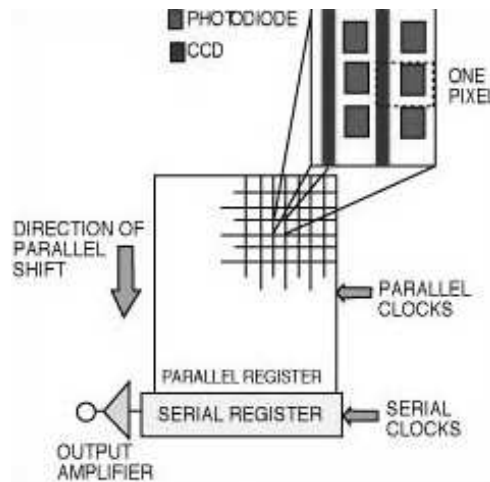
شکل 39: معماری FT (8).

یکی از مزایای این نوع معماری این است که دیگر نیاز به شاتر برای هماهنگ کردن زمانی نیست در نتیجه سرعت خواندن اطلاعات خیلی بالا می‌رود. نکته‌ی بارزی که در اینجا وجود دارد نظم و ترتیبی است که در خواندن و فرستادن اطلاعات وجود دارد، اگر چه در اینجا نیز به دلیل اینکه همزمان با داده‌گیری اطلاعات به ثبات آرایه‌ی ذخیره فرستاده می‌شود ایراداتی در تصویر بوجود می‌آید. از آنجایی که برای این نوع معماری دو تا صفحه‌ی سیلیکون لازم است بنابراین این نوع CCD دارای هزینه‌ی زیادی می‌باشد.

معماری (IL) Interline

در این نوع معماری کاستی‌هایی که در مورد مدل بالا قرار داشت بوسیله‌ی جداسازی بخش آشکارسازی تصویر و بازسازی اطلاعات تا حدودی رفع شده است. این جداسازی بوسیله‌ی یک منطقه‌ی حساس به نور ایزوله که بین خطوطی که حساسیت ندارند و برای بازخوانی موازی بکار برده می‌شوند، قرار دارند، انجام می‌پذیرد (ر.ک. شکل زیر). بعد از اینکه یک صفحه کامل شد، سیگنال‌هایی که در پیکسل‌ها جمع‌آوری شده‌اند بلافاصله به قسمت محافظ نور CCD منتقل می‌شوند. پس از این مرحله فرستادن اطلاعات به خروجی مانند مدل‌های بالا انجام می‌گیرد.

همزمان با بازخوانی اطلاعات مربوط به فریم جدید شروع به کامل شدن می‌کند، بنابراین به این طریق به صورت پیوسته می‌توان به ترتیب کارها را انجام داد و در نتیجه سرعت بالا می‌رود. هم‌چنین به دلیل معماری که استفاده شده است نقیصه‌هایی که در مدل‌های قبلی وجود داشت در این مدل به صورت چشم‌گیری کاهش پیدا کرده است.



شکل 40: معماری IL (8).

از جمله معایب مهمی که این نوع معماری دارد پیچیدگی‌های زیاد دستگاه می‌باشد که باعث شده است هزینه‌ی آن هم افزایش پیدا کند. در اینجا هم‌چنین حساسیت به دلیل استفاده از قسمت محافظ شده از نور پایین آمده است، زیرا قسمتی از هر سلول به این کار اختصاص داده شده است. به دلیل کاهش روزه‌ها و کانال‌ها احتمال وقوع خطا نیز بالا می‌رود.

مفاهیم اساسی CCD

تصویر برداری بوسیله‌ی CCD در سه مرحله انجام می‌گیرد.

1. آشکارسازی که در واقع نور را به بار الکتریکی درون پیکسل‌های مجزا تبدیل می‌کند.
2. انتقال بار، که بسته‌های بار را به زیرلایه‌ی سیلیکون انتقال می‌دهد.
3. تبدیل بار به ولتاژ و تقویت خروجی

تبدیل نور به بار الکتریکی

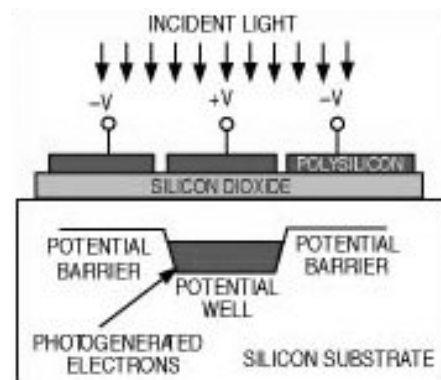
تصویر زمانی به دست می‌آید که نور فرودی به صورت فوتون برسد به آرایه‌های سلول‌ها. انرژی وابسته به هر فوتون بوسیله‌ی سیلیکون جذب می‌شود و در نتیجه جفت الکترون-حفره تشکیل می‌شود. تعداد الکترون‌های جمع شده در هر پیکسل رابطه‌ی مستقیمی دارد با مقدار نور و زمان نوردهی. هم‌چنین یک رابطه‌ی غیرخطی نیز با طول موج دارد.

فاکتورهای زیادی هستند که توانایی جذب فوتون را مورد تاثیر قرار می‌دهند. لایه‌های نازک فلز که روی سطح سیلیکون نشانه شده‌اند می‌تواند باعث جذب یا بازتاب نور شود. فوتون‌ها در عمق‌های مختلفی از سیلیکون جذب می‌شوند و این بستگی به طول موج آن‌ها دارد.

چاهها و سدهای پتانسیل:

CCD ها از اصول حاکم بر اکسیدهای فلزی نیمه‌رسانا (MOS) تبعیت می‌کنند. ساختار MOS شامل مواد رسانایی است که روی یک نیمه رسانا قرار داده شده است و در بین آنها یک لایه نازک نارسانا (دیاکسید سیلیکون) ساندویچ شده است.

با اعمال ولتاژ به *gate* (ماده رسانا در MOS) یا همان الکتروود، پتانسیل الکتروستاتیکی در نیمه رسانا تغییر می‌کند. با یک ولتاژ مشخص یک چاه پتانسیل در سیلیکون بوجود می‌آید که می‌تواند الکترونهای ایجاد شده توسط نور را به تله بیاورد. این الکترونها می‌توانند با سدهای ایجاد شده در طرفین چاه در آن حبس شوند. با توجه به اندازه ولتاژ هر *gate* می‌تواند یک سد یا یک چاه پتانسیل ایجاد کند (شکل زیر).



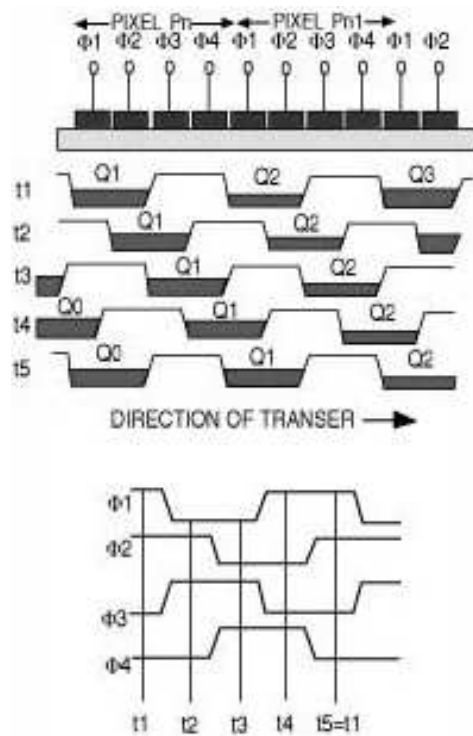
شکل 41: نحوه‌ی کار چاهها و سدهای پتانسیل در CCD (8).

انتقال بار:

معمولا برای انتقال بار از روش *four charge transfer* استفاده می‌شود. توجه کنید که وقتی یک بسته بار را از یک سلول منتقل می‌کنید، در واقع اطلاعات تمام سلولها را جابجا می‌کنید.

Four charge transfer CCDs

در این نوع CCD هر چهار *gate* به طور زنجیره‌ای به هم متصل می‌شوند. همانطور که در شکل زیر می‌بینید، اگر به *gate* های ϕ_1 و ϕ_2 ولتاژ بالاتری نسبت به ϕ_3 و ϕ_4 اعمال شود، یک چاه پتانسیل زیر ϕ_1 و ϕ_2 ایجاد می‌شود که به آن *depletion region* می‌گویند. اگر ϕ_1 و ϕ_3 جای یکدیگر را از نظر اندازه ولتاژ عوض کنند، چاه پتانسیل (اطلاعات) به زیر ϕ_3 و ϕ_2 منتقل می‌شود.



شکل 42: نحوه‌ی انتقال بار در CCD (8).

این عمل برای ϕ_2 و ϕ_4 نیز تکرار می‌شود و اطلاعات به زیر ϕ_3 و ϕ_4 منتقل می‌شود.

CCD های three phase channel هم به این صورت کار می‌کنند ولی به جای چهار gate هر سه gate تشکیل یک سلول می‌دهند.

عنوان آزمایش: همدوسی و تداخل امواج نوری

چکیده:

تداخل سنجی یکی از متداول ترین و دقیق ترین روش های اپتیکی برای اندازه گیری کمیت های اپتیکی برای اندازه گیری کمیت های فیزیکی مانند طول موج، ضریب شکست، ضخامت، طول همدوسی، ابیراهی و می باشد. بر اساس کاربرد و نوع کمیت مورد اندازه گیری تداخل سنج های گوناگونی ابداع گردیده اند.

در این قسمت با چگونگی کار تداخل سنج مایکلسون، که بیشتر تداخل سنج ها بر پایه ی آن طراحی و ساخته شده اند، آشنا خواهیم شد و با کمک آن طول همدوسی یک چشمه ی نور را اندازه خواهیم گرفت.

مقدمه و تعریف صورت مسئله:

تداخل نور و مفهوم همدوسی

هنگامی که دو موج الکترومغناطیسی به یک نقطه می رسند، بر حسب اینکه از نظر فازی نسبت به هم چگونه باشند، توزیع میدان حاصل از برهم نهی این دو موج حالت های گوناگونی را می تواند داشته باشد. فرض می کنیم دو موج تخت A, B به صورت زیر داشته باشیم

$$\begin{aligned} A(x, y) &= A_0(x, y)e^{-i\phi(x, y)} \\ B(x, y) &= B_0(x, y)e^{-i\psi(x, y)} \end{aligned}$$

شدت میدان حاصل از برهم نهی این دو موج برابر خواهد بود با

$$\begin{aligned} I(x, y) &= AA^* + BB^* + A^*B + AB^* = |A(x, y)|^2 + |B(x, y)|^2 + 2A_0B_0 \cos \delta \\ I(x, y) &= I_A + I_B + 2\sqrt{I_A I_B} \cos \delta \end{aligned}$$

که در آن $\delta(x, y) = \psi(x, y) - \phi(x, y)$ اختلاف فاز دو موج A, B است. همان طور که دیده می شود توزیع شدت میدان دارای دو جمله ی ثابت است و یک جمله ی متغیر که تابعی سینوسی از اختلاف فاز دو موج است. اگر $\delta = 2m\pi$ که در آن m یک عدد صحیح است، آن گاه دامنه ی دو موج بر هم افزوده می شوند و تداخل سازنده خواهد بود و بیشینه ی شدت (نوار روشن) خواهیم داشت. اگر $\delta = (2m+1)\pi$ ، آن گاه دامنه ی دو موج از هم کم می شوند و تداخل ویران گر خواهد بود و کمینه ی شدت (نوار باریک) خواهیم داشت.

بدین ترتیب نقش تداخلی تشکیل می شود. همان طور که از روابط بالا دیده می شود، برای آن که یک نقش تداخلی ثابت و پایدار داشته باشیم، باید رابطه ی فازی بین امواج تداخل کننده در هنگام انتشار ثابت باشد. به چنین امواجی امواج همدوس (coherent) می گویند. پس در واقع دو موج هنگامی می توانند با هم تداخل کنند که همدوس باشند. مسافتی را که دو موج طی می کنند و در طی آن رابطه ی فازی آن ها ثابت باقی می ماند، طول همدوسی و مدت زمان طی کردن

این مسافت را زمانِ همدوسی می‌نامند. تمامی چشمه‌های نوری (حتی چشمه‌های به اصطلاح تک‌رنگ) دارای پهنای خط می‌باشند. اگر $\Delta\omega$ پهنای فرکانسی نور مورد مطالعه باشد، زمانِ همدوسی برابر خواهد بود با

$$t_c = \frac{\pi}{\Delta\omega}$$

بر این اساس طولِ همدوسی که با کمکِ روابطِ بینِ طولِ موج و فرکانس به دست می‌آید برابر است با

$$l_c = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$$

همدوسی زمانی

جابجایی متناظر با موج تخت یک بعدی را که در امتداد x انتشار می‌یابد می‌توان به صورت زیر نوشت

$$\Psi(x, t) = Ae^{i(kx - \omega t)}$$

که در آن A دامنه‌ی موج و معمولاً به صورت مختلط است. اگر بنویسیم

$$A = |A|e^{i\varphi}$$

در این صورت با استفاده از روابط بالا خواهیم داشت

$$\Psi(x, t) = |A|e^{i(kx - \omega t + \varphi)}$$

جابجایی واقعی که آن را با E نشان می‌دهیم، جزء حقیقی Ψ است و بنابراین، با رابطه زیر بیان می‌شود

$$E = |A|\cos(kx - \omega t + \varphi)$$

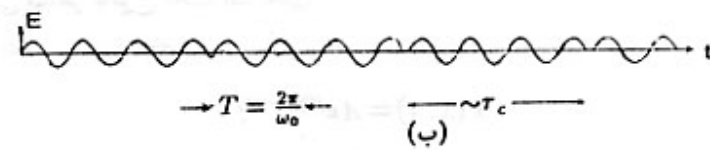
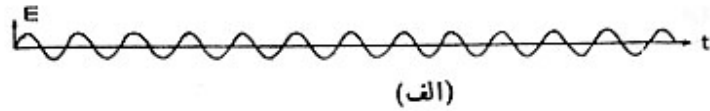
لیکن، جابجایی که معادله‌ی بالا معرف آن است، عملاً ناممکن است، زیرا به ازای مقداری اختیاری از x معادله‌ی بال پیش‌بینی می‌کند که جابجایی به ازای $-\infty < t < +\infty$ سینوسی است (شکل زیر الف). مثلاً،

$$E(x = 0, t) = |A|\cos(\omega t - \varphi)$$

عملاً، برای یک چشمه‌ی نور لامپ معمولی (نظیر لامپ سدیم)، میدان به ازای همه‌ی مقادیر زمانی کاملاً سینوسی نیست و در واقع میدان به صورتی است که در شکل زیر ب نشان داده شده است. علت این امر آن است که وقتی که یک اتم تحریک شده به حالت پایه برمی‌گردد و نور گسیل می‌دارد، دوامِ تپ حدود 10^{-10} ثانیه است. بنابراین، به مدت زمانی حدود 10^{-10} ثانیه میدان سینوسی باقی می‌ماند. این مدت را زمانِ همدوسی باریکه‌ی نوری می‌گویند و معمولاً آن را با τ_c نشان می‌دهند. طولِ همدوسی نور، L ، را از معادله‌ی زیر به دست می‌آوریم

$$L = c \tau_c$$

که در آن c سرعت نور است.



شکل 43: همدوسی زمانی (3).

پهنای خط

اگر دو طول موج نزدیک به هم λ_1, λ_2 را داشته باشیم، در آزمایش تداخل سنج مایکلسون، اگر

$$\frac{2d}{\lambda_2} - \frac{2d}{\lambda_1} = \frac{1}{2}$$

نقش تداخلی ناپدید می شود. در اینجا $2d$ اختلاف راه بین دو باریکه را نشان می دهد. بنابراین

$$2d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 - \lambda_2)} \approx \frac{\lambda^2}{2(\lambda_1 - \lambda_2)}$$

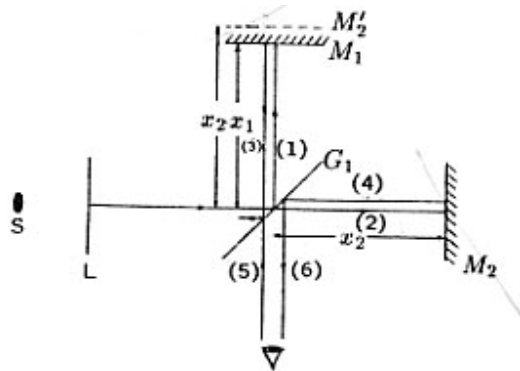
اگر فرض کنیم که باریکه، به جای دو طول موج جدا، شامل همه ی طول موج های موجود بین $\lambda, \lambda + \Delta\lambda$ باشد، آنگاه اگر $d \geq \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$ ، فریزها مشاهده نخواهند شد.

بدین ترتیب، همدوسی زمانی باریکه را می توان مستقیماً به پهنای خط طیفی ربط داد. از آنجا که اگر اختلاف راه از طول همدوسی L بیشتر باشد فریزها مشاهده نمی شوند، می توانیم فرض کنیم که باریکه شامل همه ی طول موج های بین $\lambda, \lambda + \Delta\lambda$ است، به طوری که

$$\Delta\lambda \approx \frac{\lambda^2}{L}$$

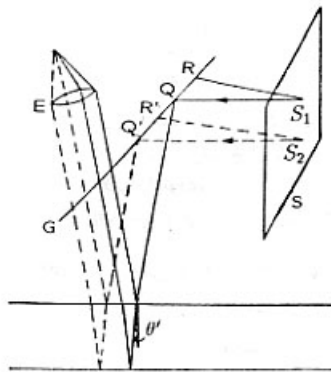
تداخل سنج مایکلسون

نومدارِ طرح‌واره‌ی تداخل‌سنج مایکلسون در شکلی زیر نشان داده شده است. S نمایان‌گر چشمه‌ی نوری و L نمایان‌گر تیغه‌ی شیشه‌ای دانه‌دانه‌ای است که یک چشمه‌ی گسترده با شدت تقریباً یکنواخت تولید می‌کند. G_1 یک تقسیم‌کننده‌ی باریکه است، یعنی از باریکه‌ی تابیده بر G_1 مقداری باز می‌تابد و مقداری عبور می‌کند. M_1, M_2 آینه‌های مسطحی با کیفیت خوب هستند که بازتابندگی زیادی دارند. یکی از آینه‌ها (معمولاً M_2) ثابت است و آینه‌ی دیگر (معمولاً M_1) می‌تواند به وسیله‌ی یک پیچ در مسیری که دقیقاً با ماشین مشخص شده است به تیغه‌ی شیشه‌ای G_1 نزدیک یا از آن دور شود. در تنظیم عادی تداخل‌سنج، آینه‌های M_1, M_2 بر هم عمودند و G_1 در زاویه‌ی 45° نسبت به آینه قرار دارد.



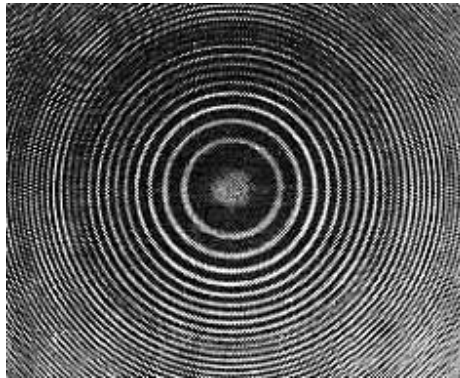
شکل 44: تداخل سنج مایکلسون (3).

موج‌های ناشی از نقطه‌ی P توسط تقسیم‌کننده‌ی باریکه‌ی G_1 قدری بازتاب و قدری عبور می‌کنند، و دو باریکه‌ی حاصل به ترتیب زیر تداخل می‌کنند: موج بازتابیده، که در شکل با (1) نشان داده شده است، در M_1 بازتاب دیگری می‌یابد و موج بازتابیده به طور جزئی از G_1 عبور می‌کند، این موج با شماره‌ی (5) در شکل نشان داده شده است. موج عبور کرده که در شکل با (2) نشان داده شده است، توسط M_2 باز می‌تابد و سپس به طور جزئی از G_1 بازتابیده می‌شود و نتیجه در شکل با (6) نشان داده شده است. موج‌های (5) و (6) مطابق شکل زیر با هم تداخل می‌کنند. این مطلب به سادگی از این واقعیت مشهود است که اگر x_1, x_2 فاصله‌های آینه‌های M_1, M_2 از تیغه‌ی G_1 باشند، برای چشم این‌طور به نظر می‌رسد که موج‌های ناشی از نقطه‌ی P از دو آینه‌ی موازی M_1, M_2 به فاصله‌ی $(x_1 - x_2)$ بازتابیده شده باشند.



شکل 45: نور انتشار یافته از یک چشمه گسترده (3).

اگر یک چشمه‌ی گسترده به کار بریم، در روی صفحه‌ی عکاسی که در موضع چشم قرار گیرد، نقش تداخلی خاصی به دست نخواهد آمد. ولی، اگر به جای آن دوربین عکاسی داشته باشیم که بر بینهایت تنظیم شود، روی صفحه‌ی کانونی فریزهای دایره‌ای به دست خواهند آمد، و هر دایره با مقدار θ' معینی متناظر است (ر.ک. شکل بالا). فریزهای دایره‌ای شبیه آن‌هایی است که در شکل زیر نشان داده شده است. این فریزها را فریزهای هایدینگر می‌نامند.



شکل 46: فریزهای مشاهده در تداخل سنج مایکلسون (3).

باید گفت که راه اضافی پیموده شده توسط یکی از باریک‌ها برابر است با $2(x_1 - x_2)$ و شرط روشن بودن حلقه عبارت است از

$$2d \cos \theta' = m\lambda$$

که در آن m عددی است صحیح و $d = x_1 - x_2$. به همین ترتیب شرط مربوط به حلقه‌ی تاریک عبارت است از

$$2d \cos \theta' = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

معادله‌های بالا بر این نکته دلالت دارند که وقتی که d افزایش می‌یابد، فریزها به هم نزدیک‌تر می‌شوند. از این گذشته وقتی که d کاهش می‌یابد، نقش فریزها به از بین رفتن در مرکز تمایل می‌یابند. در واقع، اگر وقتی که آینه‌ی M_1 به فاصله‌ی d_0 حرکت می‌کند N فریز در مرکز از بین برود، باید داشته باشیم

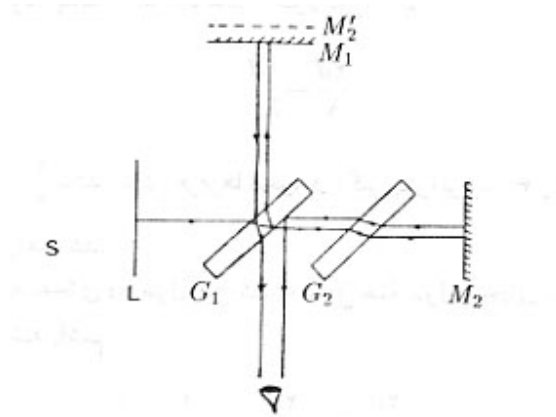
$$\begin{aligned} 2d &= m\lambda \\ 2(d - d_0) &= (m - N)\lambda \end{aligned}$$

که در آن $\theta' = 0$ قرار داده شده است، زیرا فریز مرکزی را نگاه می‌کنیم. بنابراین

$$\lambda = \frac{2d_0}{N}$$

این کار در واقع روشی را برای اندازه‌گیری طول موج به ما می‌دهد.

در تداخل سنج مایکلسون، تقسیم کننده ی باریکه ی G_1 شامل تیغه ای است، که سطح پشت آن به طور جزئی نقره اندود شده است و بازتاب از آن به ترتیب نشان داده شده در شکل زیر در سطح پشت صورت می گیرد. بید رنگ آشکار می شود که باریکه ی (5) سه بار از تیغه ی شیشه ای می گذرد و برای جبران این راه اضافی تیغه ی جبران کننده ی G_2 که دقیقا همان ضخامت G_1 را دارد، قرار می دهیم.



شکل 47. در یک تداخل سنج واقعی یک جبران گر نیاز است (3).

باید گفت که برای چشمه ی تکفام در واقع به تیغه ی جبران کننده احتیاجی نیست، زیرا راه اضافی $2t$ را که توسط G_1 ایجاد شده است، می توان با حرکت دادن آینه ی M_1 به اندازه ی nt که در آن n ضریب شکست شیشه ی G_1 است، جبران کرد. ولی، برای نور سفید، فقط چند فریز رنگی در اطراف نقطه ی مربوط به اختلاف راه صفر مشاهده خواهد شد، و چون ضریب شکست به طول موج بستگی دارد، برای دیدن نقش فریزها وجود تیغه ی جبران کننده لازم است.

توضیح چگونگی و شرح مراحل مختلف کار:

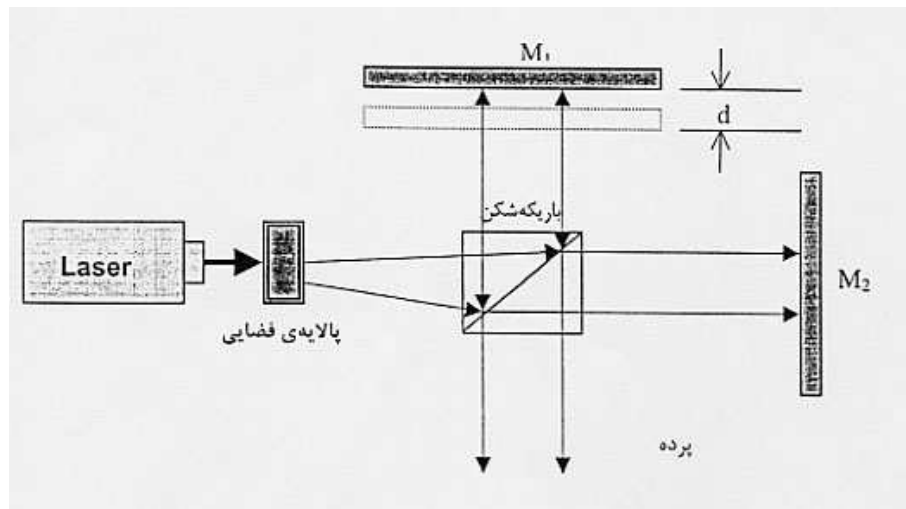
آزمایش - اندازه گیری طول همدوسی لیزر هلیوم-نئون:

وسایل آزمایش: لیزر هلیوم-نئون، دو عدد آینه تخت، باریکه شکن منشوری، میکرومتر، ریل مدرج، عدسی

در اینجا آزمایشی که انجام می دهیم تداخل سنج مایکلسون می باشد. اصول این آزمایش به این صورت است که از آنجاییکه ما تا زمانی تداخل داریم که اختلاف فاز امواج ثابت باشند. در نتیجه می توان با این آزمایش طول همدوسی یک لیزر را محاسبه کرد. لیزری که در اینجا استفاده می کنیم یک لیزر هلیوم-نئون می باشد.

برای این کار ابتدا میز را به صورت زیر آماده می کنیم. سپس در اینجا می آییم و عدسی و آینه ها را به گونه ای می چینیم که طول دو بازو دقیقا برابر باشد و همچنین طرح تداخلی را روی پرده ببینیم. از آنجایی که با موج کروی سر و کار داریم فریزهایی که می بینیم به صورت دایروی هستند.

سپس می‌آییم و یکی از آینه‌ها را شروع به دور کردن می‌کنیم. آن‌قدر این کار را انجام می‌دهیم تا فریزها از بین بروند. مختصات محل را یادداشت می‌کنیم. پس از آن می‌آییم و بار دیگر آن را نزدیک می‌کنیم و آن را آن‌قدر نزدیک می‌کنیم که باز هم در این حالت فریزها از بین بروند. طول همدوسی برابر است با دو برابر این اختلاف راهی که به دست آوردیم زیرا نور این مسیر را دو بار طی می‌کند. اختلاف راهی که ما در این آزمایش بدست آوردیم برابر 23 سانتی‌متر بود که بنابراین طول همدوسی 46 سانتی‌متر به دست می‌آید.



شکل 48: تداخل سنج مایکلسون (7).

تحلیل آزمایش، نتیجه‌گیری و منابع خطا:

از جمله مواردی که می‌توان در این آزمایش به آن اشاره کرد فریزهای تداخلی دایروی شکل بودند، که همان‌طور که در بالا به آن اشاره شد به دلیل کروی بودن موج‌های نوری استفاده شده در این آزمایش می‌باشد.

از جمله منابع خطایی که می‌توان در این آزمایش نام برد وجود لرزش در میز می‌باشد. این آزمایش شدیداً به لرزش حساس است.

از دیگر عوامل خطا استفاده از خط‌کش معمولی برای اندازه‌گیری طول می‌باشد. با اینکه آینه‌ها با دقت میکرون جابجا می‌شوند ولی چون باید کل فاصله اندازه‌گیری شود در نتیجه از خط‌کش معمولی استفاده شد که خطایی را در اینجا وارد می‌کند.

از دیگر منابع خطا تشخیص محل دقیق محو شدن فریزها می‌باشد. زیرا فریزها شدیداً به لرزش حساس هستند و اگر بی‌دقتی صورت گیرد، نتیجه‌ی درستی به بار نخواهد نشست.

پاسخ به پرسشها:

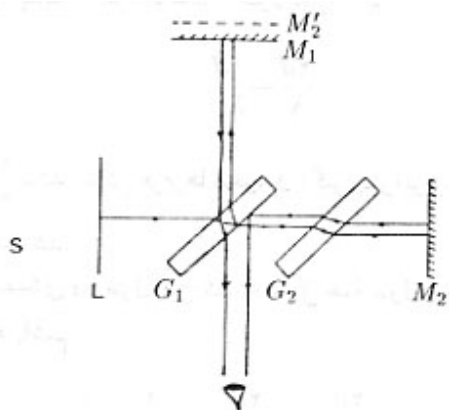
پرسش - اساس کار تداخل سنج مایکلسون و چگونگی بستگی شکل نقش تداخلی به شکل جبهه‌ی موج نورهای تداخل کننده را بیان کنید.

حل: برای آن که یک نقش تداخلی ثابت و پایدار داشته باشیم، باید رابطه‌ی فازی بین امواج تداخل کننده در هنگام انتشار ثابت باشد. به چنین امواجی امواج همدوس (coherent) می‌گویند. پس در واقع دو موج هنگامی می‌توانند با هم تداخل کنند که همدوس باشند. مسافتی را که دو موج طی می‌کنند و در طی آن رابطه‌ی فازی آن‌ها ثابت باقی می‌ماند، طول همدوسی و مدت زمان طی کردن این مسافت را زمان همدوسی می‌نامند. این در واقع اساس کار استفاده از این تداخل سنج برای پیدا کردن طول همدوسی می‌باشد.

اگر از جبهه موج کروی استفاده کنیم فریزهای دایروی خواهیم داشت و اگر جبهه موج تخت باشد فریزهای خطی خواهیم داشت.

پرسش - چرا در طرح‌واره‌ی استاندارد تداخل سنج مایکلسون به تیغه‌ی جبران‌گر نیاز است؟ باریکه شکن منشوری چگونه نبودن آن را جبران می‌کند؟

حل: در تداخل سنج مایکلسون، تقسیم کننده‌ی باریکه‌ی G_1 شامل تیغه‌ای است، که سطح پشت آن به طور جزئی نقره‌اندود شده است و بازتاب از آن به ترتیب نشان داده شده در شکل زیر در سطح پشت صورت می‌گیرد. بیدرنگ آشکار می‌شود که باریکه‌ی (5) سه بار از تیغه‌ی شیشه‌ای می‌گذرد و برای جبران این راه اضافی تیغه‌ی جبران کننده‌ی G_2 که دقیقاً همان ضخامت G_1 را دارد، قرار می‌دهیم.



شکل 49: در یک تداخل سنج واقعی یک جبران‌گر نیاز است (3).

باید گفت که برای چشمه‌ی تکفام در واقع به تیغه‌ی جبران کننده احتیاجی نیست، زیرا راه اضافی $2t$ را که توسط G_1 ایجاد شده است، می‌توان با حرکت دادن آینه‌ی M_1 به اندازه‌ی nt که در آن n ضریب شکست شیشه‌ی G_1 است،

جبران کرد. ولی، برای نور سفید، فقط چند فریز رنگی در اطراف نقطه‌ی مربوط به اختلاف راه صفر مشاهده خواهد شد، و چون ضریب شکست به طول موج بستگی دارد، برای دیدن نقش فریزها وجود تیغه‌ی جبران کننده لازم است. حال با توجه به اینکه در باریکه شکن منشوری، نور در وسط دو قسمت می‌شود، در نتیجه نور باریکه دوم هم باید 3 بار از شیشه رد شود و در نتیجه نیازی به جبران گر نیست.

پرسش - چرا دو برابر مقدار بدست آمده از تفاضل دو مختصات مذکور برابر طول همدوسی چشمه‌ی مورد مطالعه است؟

حل: چون باریکه این مسیر را یکبار می‌رود و یکبار برمی‌گردد، دو برابر این فاصله طول همدوسی چشمه مورد نظر است.

پرسش - در آزمایش شما طول همدوسی چقدر بدست آمد؟ خطای اندازه‌گیری شما چقدر است؟

حل: در این آزمایش ما طول همدوسی را 46 سانتی‌متر بدست آوردیم که به دلیل اندازه‌گیری با خط‌کشی که داشتیم خطا 0.5 میلی‌متر بود.

پرسش - بالاترین مرتبه فریزهای نقش تداخلی بدست آمده چه رابطه‌ای با اندازه‌ی اختلاف طول دو بازو دارد؟ آن را بدست آورید.

حل: فرمول زیر را داریم:

$$2d\cos\theta_m = m\lambda_0$$

در این صورت، بالاترین مرتبه فریزهای نقش تداخلی وقتی بوجود می‌آید که θ_m ، صفر شود و بنابراین رابطه‌ی زیر برقرار است

$$m_{\max} = \frac{2d}{\lambda_0}$$

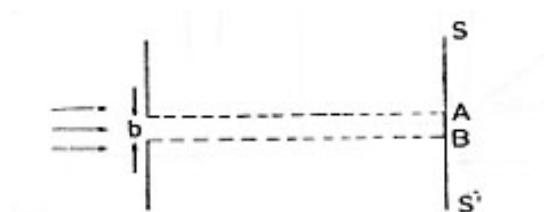
عنوان آزمایش: پراش نور و اپتیک فوریه

چکیده:

می‌دانیم که بر اساس اصل هویگنس هر نقطه از جبهه‌ی موج خود به مانند یک چشمه‌ی امواج کروی ثانویه عمل می‌کند که به آن‌ها موجک‌های هویگنس می‌گویند. پوش این موجک‌های جدید در واقع محل جدید جبهه‌ی موج را پس از طی مسافت Δx می‌دهد. یک چشمه‌ی نور گسترده در نظر بگیرید که جسمی در مقابل آن قرار گرفته است. اگر از دیدگاه اپتیک هندسی به مسئله نگاه کنیم مرز بین سایه و روشن باید درست تیز و مشخص باشد. ولی در عمل این گونه نیست و نیم‌سایه هم وجود دارد و این در واقع همان پراش نور فرودی از لبه‌ی جسم است.

مقدمه و تعریف صورت مسئله:

موج تختی را در نظر می‌گیریم که بر یک شکاف بلند و باریک با پهنای b فرود می‌آید (شکل زیر). بنابر اپتیک هندسی انتظار می‌رود که ناحیه‌ی AB از پرده‌ی SS' روشن شود و قسمت باقی مانده تاریک باشد. اما وقتی مشاهده‌ی دقیقی انجام گیرد، پی می‌بریم که اگر پهنای شکاف در مقایسه با طول موج خیلی بزرگ نباشد، در این صورت شدت نور در ناحیه‌ی AB یکنواخت نیست و درون سایه هندسی نیز یک مقداری شدت وجود دارد. این پهن‌شدگی موج در ضمن عبور از شکاف باریک را پراش و تزیع شدت روی پرده را نقش پراش می‌نامند.

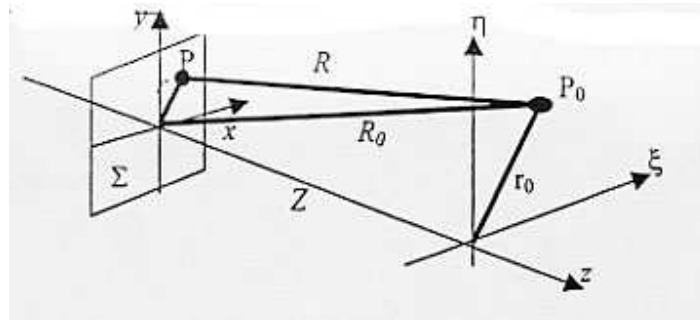


شکل 50: عبور موج تخت از روزنه (3).

برای مطالعه‌ی پدیده‌ی پراش معمولاً معادله‌ی موج را هنگامی که در مسیر آن یک مانع قرار داده شده است حل می‌کنند و بدین ترتیب توزیع میدان را در نقطه‌ی مشاهده به دست می‌آورند

$$E(r_0) = \frac{i}{\lambda} \iint \frac{E_i(\vec{r})}{R} e^{-h\vec{k} \cdot \vec{R}} dS$$

این رابطه را گاهی انتگرال فرنل می‌نامند. که در آن R فاصله‌ی مانع از نقطه‌ی مشاهده، $E_i(r)$ شدت میدان در نقطه‌ی مشاهده، k بردار موج، λ طول موج، و r_0 فاصله‌ی نقطه‌ی مشاهده تا محور z است (شکل زیر). ضرب $\frac{i}{\lambda}$ فاکتور انحنا نامیده می‌شود و معیاری از اثر هندسی روزنه بر روی موج فرودی است.



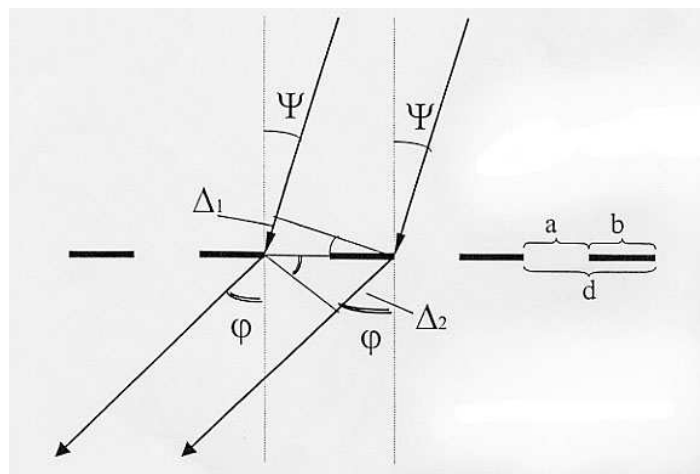
شکل 51: هندسه‌ی پراش فرانهوفر (7).

حل دقیق این انتگرال غیر از چند حالت خاص بسیار مشکل و پیچیده است. معمولاً این انتگرال برای چند حالت خاص حل می‌شود. دو حالت کلی برای زدن تقریب و حل این انتگرال در نظر گرفته می‌شود:

1. اندازه‌ی روزنه نسبت به فاصله‌های چشمه و نقطه‌ی مشاهده تا صفحه‌ی شامل روزنه بسیار کوچک است. در این حالت موج فرودی را می‌توان تخت در نظر گرفت. این تقریب به پراش فرانهوفر معروف است.
2. اندازه‌ی روزنه با فاصله‌های چشمه و نقطه‌ی مشاهده تا صفحه‌ی شامل روزنه قابل قیاس است. در این حالت موج فرودی را می‌توان کروی در نظر گرفت. این تقریب به پراش فرنل معروف است.

توری پراش:

در نقش تداخلی پرتوهای که از دو خط همسایه‌ی یک توری به مشاهده‌گر می‌رسند، برای مکان‌هایی که اختلاف راه پیموده شده برای پرتوها یعنی $\Delta_2 - \Delta_1$ برابر مضرب درستی از طول موج باشد تداخل سازنده رخ می‌دهد (شکل زیر).



شکل 52: پراش از یک توری عبوری (7).

با توجه به شکل بالا از راه هندسی به رابطه‌ی زیر می‌رسیم

$$d.(\sin \varphi - \sin \psi) = m\lambda$$

که در آن d برابر مجموع پهنای بخش تیره و پهنای بخش شفاف می‌باشد و ثابت توری نام دارد. φ زاویه‌ی پراش، ψ زاویه‌ی فرود و m عدد درست می‌باشند. فرمول بالا اساسی ترین رابطه‌ای است که ویژگی‌های یک توری را بیان می‌کند. همان‌طور که مشاهده می‌شود زاویه‌ی پراش به زاویه فرود بستگی دارد. زاویه‌ی پراش همچنین به طول موج پرتوی فرودی بستگی دارد که همین ویژگی این امکان را به ما می‌دهد که از آن به عنوان یک عنصر پاشنده بهره ببریم.

طیف‌های مرتبه‌های گوناگون

برای m های مختلف، توری تعداد زیادی طیف می‌دهد. برای $m = 0$ طیف مرتبه صفر را خواهیم داشت که برای آن $\sin \varphi = \sin \psi$ می‌باشد و هیچ بستگی به λ وجود ندارد. حد بالایی m توسط رابطه‌ی

$$|\sin \varphi - \sin \psi| \leq 2$$

تعیین می‌شود. از رابطه‌ی اساسی داریم

$$m\lambda \leq 2d$$

و در نتیجه برای مقدار بیشینه‌ی m خواهیم داشت

$$m_{\max} \leq \frac{2d}{\lambda}$$

برای اینکه توری حداقل پراش مرتبه‌ی یک را بدهد باید داشته باشیم

$$d > \frac{\lambda}{2}$$

قدرت تفکیک:

قدرت تفکیک توری پراش که به صورت زیر تعریف می‌شود عاملی است که ما را مجبور می‌کند تا ثابت توری را کاهش دهیم

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = m.N$$

همان‌طور که مشاهده می‌کنید به غیر از مرتبه‌ی پراش، تعداد کل خط‌های طوری N نیز در روی قدرت تفکیک تاثیر می‌گذارد.

پاشندگی:

پاشندگی زاویه‌ای از دیفرانسیل گیری از رابطه‌ی اساسی بر حسب λ به دست می‌آید

$$d.(\sin \varphi - \sin \psi) = m\lambda$$

$$\Rightarrow d.\cos \varphi d\varphi = md\lambda$$

$$\Rightarrow \frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{m}{d.\cos \varphi}$$

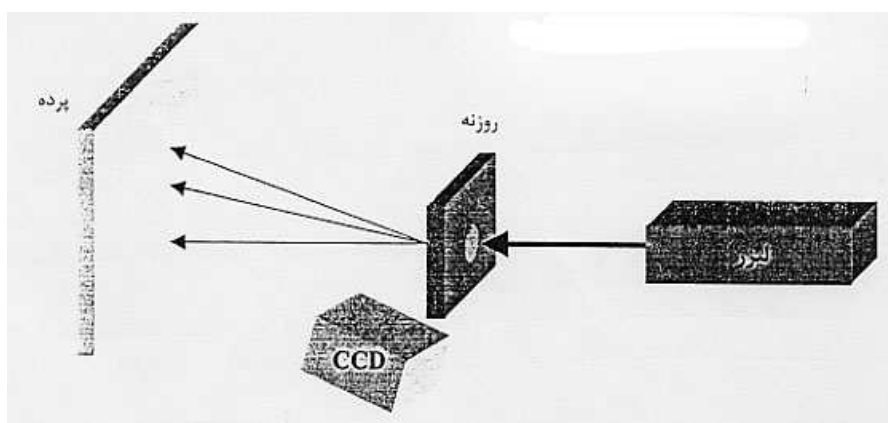
از این رابطه دیده می‌شود که کاهش ثابت توری d ، به مانند افزایش مرتبه‌ی طیف، منجر به افزایش پاشندگی زاویه‌ای می‌شود.

توضیح چگونگی و شرح مراحل مختلف کار:

آزمایش - مشاهده نقش پراش فرانهِوفر باریکه‌ی لیزر از روزنه‌هایی با شکلهای مختلف:

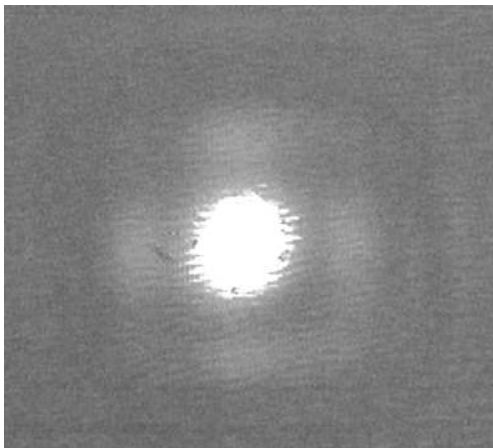
وسایل آزمایش: لیزر هلیوم-نئون، عدسی با فاصله کانونی 50 میلیمتر، روزنه‌های دایروی و مربعی، تک شکاف با پهناهای مختلف، دو شکاف با فاصله‌های مختلف، مانع دایروی، CCD

در این آزمایش هدف اصلی مشاهده پراش فرانهِوفر از روزنه‌هایی با اشکال مختلف و اندازه‌های مختلف است. برای این کار ابتدا طرح‌واره زیر را می‌چینیم. سپس روزنه‌های مختلفی را در مقابل نور لیزر قرار می‌دهیم. به کمک CCD تصویر طرح پراش را در روی پرده عکس‌برداری می‌کنیم.

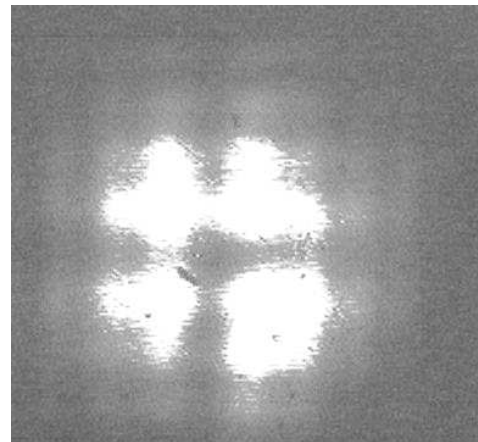


شکل 53: آزمایش نقش پراش فرانهِوفر (7).

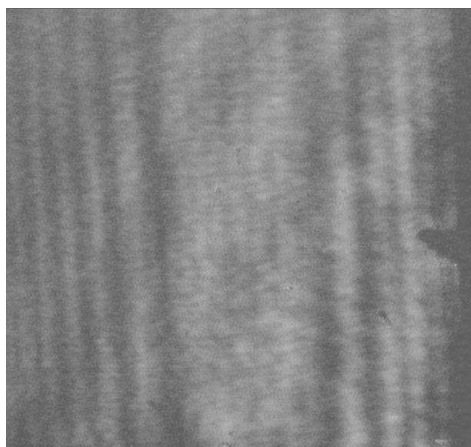
در زیر یک سری نتایجی را که از این آزمایش به دست آورده‌ایم را مشاهده می‌کنید. اطلاعات مربوط به هر تصویر در زیر آن آورده شده است.



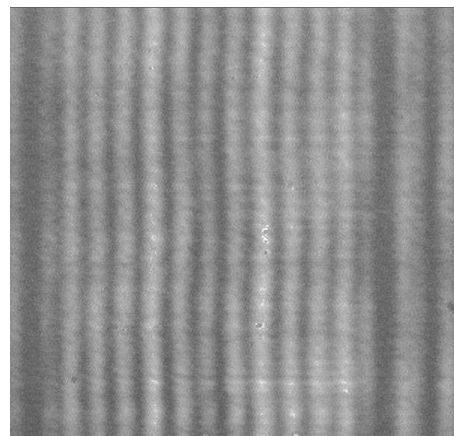
شکل 55: پراش از یک روزنه مربع شکل کوچک.



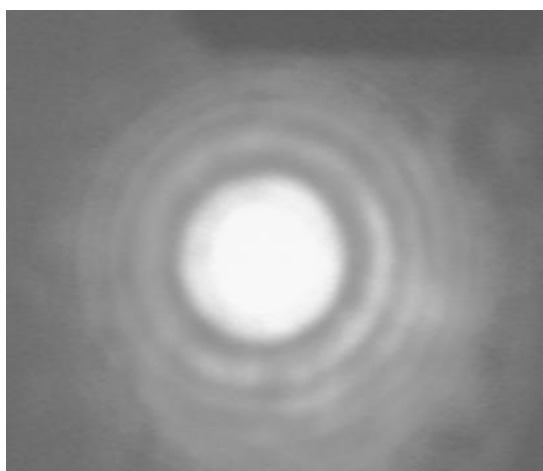
شکل 54: پراش از یک روزنه مربع شکل بزرگ



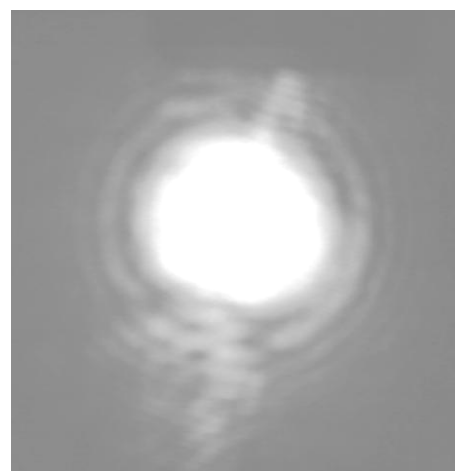
شکل 57: پراش از یک شکاف.



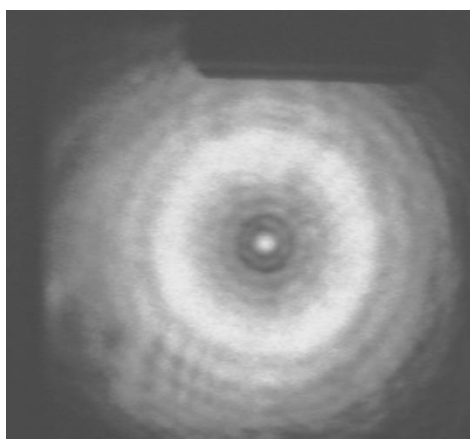
شکل 56: پراش از دو شکاف



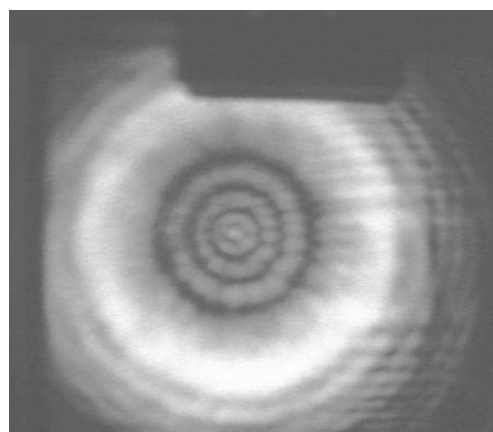
شکل 59: پراش از روزنه دایروی کوچک.



شکل 58: پراش از روزنه دایروی بزرگ.



شکل 61: پراش از مانع دایروی کوچک.



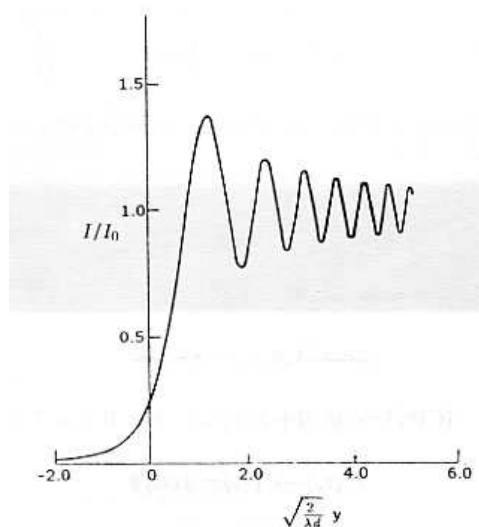
شکل 60: پراش از مانع دایروی بزرگ.

آزمایش - مشاهده پراش فرنل از یک لبه و اندازه‌گیری توزیع میدان حاصل از پراش بر روی پرده:

وسایل آزمایش: لیزر هلیوم-نئون، عدسی با فاصله کانونی 50 میلی‌متر، تیغه فلزی، CCD

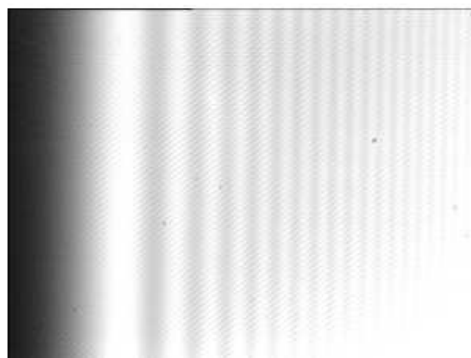
این آزمایش نیز مانند آزمایش بالا می‌باشد با این تفاوت که به جای روزنه یک تیغه فلزی نازک قرار می‌دهیم. سپس می‌آییم و نور لیزری را که پهن شده است را به لبه‌ای آن می‌تابانیم. پرده‌ای را در فاصله‌ی حدودا 2.5 متری از لبه قرار می‌دهیم و سپس در آنجا طرح پراشی را که ناشی از لبه است و روی پرده افتاده است را مشاهده می‌کنیم.

بوسیله‌ی CCD از آن عکس می‌گیریم و کاری که باید بکنیم این است که آن را بوسیله‌ی نرم‌افزار MATLAB شدت‌سنجی کنیم و در نتیجه یک نموداری برای توزیع شدت بر حسب فاصله از لبه‌ی تیغ به دست می‌آوریم. نمودار باید چیزی شبیه به شکل زیر باشد.

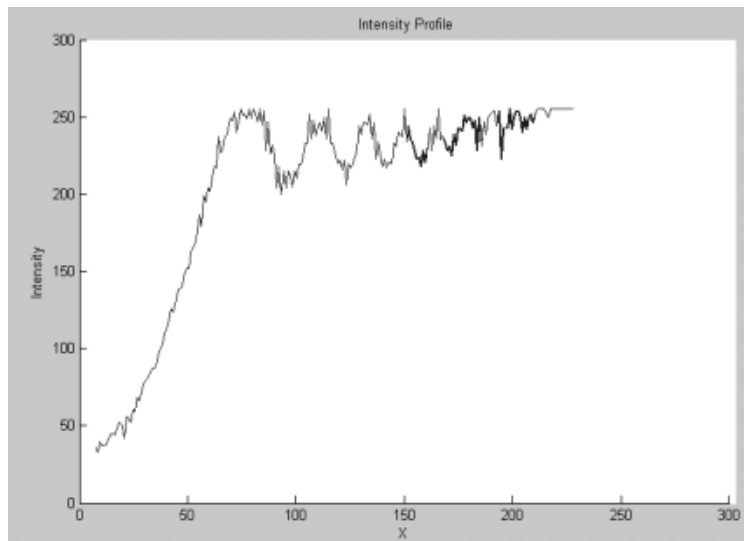


شکل 62: نتیجه‌ای که از تئوری به دست آمده است (3).

چیزی که ما در آزمایشگاه به کمک گروه آقای فریدیان به دست آوردیم به صورت زیر می‌باشد که هم خود طرح پراش و هم نمودار شدت بر حسب فاصله در زیر آورده شده است. (این آزمایشی است که بعدا با کمک این گروه تکرار کردیم تا نتایج بهتری به دست آوریم).



شکل 63: پراش فرنل از لبه.



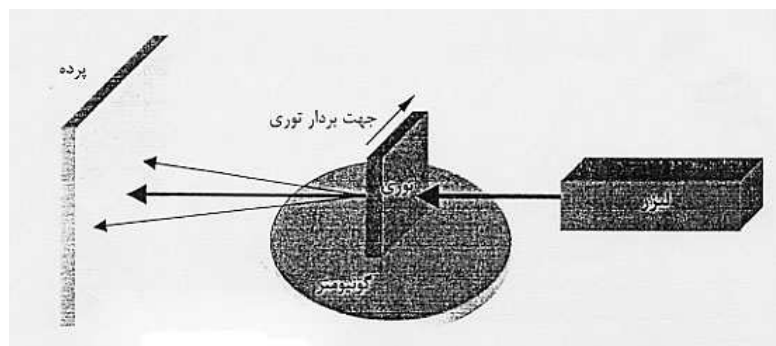
شکل 64: نمودار شدت بر حسب فاصله از لبه

آزمایش - تعیین مقدار ثابت توری پراش:

وسایل آزمایش: لیزر هلیوم- نئون، توری عبوری پراش 1000 خط بر میلیمتر، پرده، خط کش

در این جا آزمایش را به این گونه انجام می دهیم که توری را عمود بر نور می گیریم در نتیجه سینوس زاویه ی فرودی صفر خواهد بود و این به نوبه ی خود کار ما را راحت تر می کند. پس از آن می آییم و یک پرده را جلوی توری به گونه ای قرار می دهیم که پراش مرتبه ی صفر و پراش مرتبه ی اول را ببینیم.

با اندازه گیری فواصل آزمایش از قبیل فاصله ی پرده تا توری و هم چنین فاصله ی فضایی پراش مرتبه صفر و یک می توانیم زاویه پراش را به سادگی از روی هندسه ی آزمایش بدست آوریم. پس از داشتن این زاویه و هم چنین اینکه می دانیم که طول موج چقدر است می توانیم با استفاده از روابطی که در تئوری آزمایش مطرح شد، مقدار ثابت توری پراش را بدست آوریم.



شکل 65: تعیین مقدار ثابت توری پراش (7).

در زیر نتایجی را که در آزمایشگاه به دست آوردیم همراه با محاسبه‌ی خطا آورده شده است.

مطابق رابطه‌ی پراش داریم

$$d(\sin \psi - \sin \varphi) = m\lambda$$

داریم

$$\sin \psi = (24 \pm 1) / (46 \pm 1) = 0.52 \pm 0.03 \quad \text{و} \quad \lambda = 632.8 \quad \text{و} \quad m = 1 \quad \text{و} \quad \varphi = 0$$

برای ثابت توری داریم

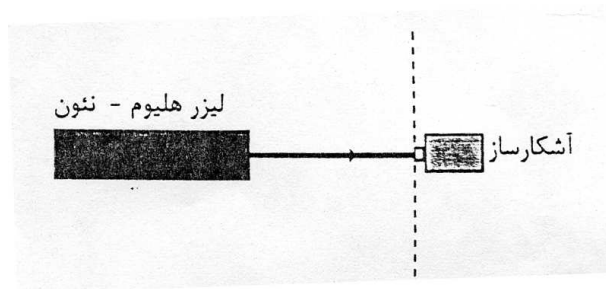
$$d = \lambda / \sin \psi = 632.8 / 0.52 = 1216 \pm 56.43 \quad nm$$

$$\delta(x/y) = \left| \delta x / y \right| + \left| x \delta y / y^2 \right| = 1/45 + 26/2025 = 0.03$$

آزمایش - تعیین بهره پراش توری:

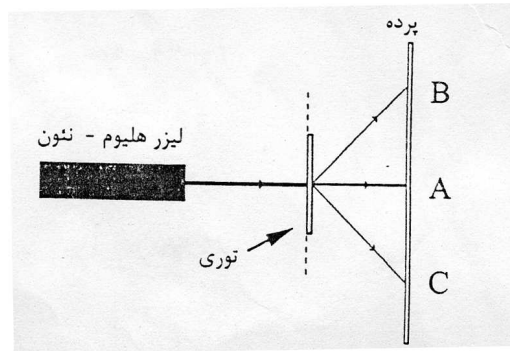
وسایل آزمایش: لیزر هلیوم-نئون، آشکار ساز، توری، پرده.

در این آزمایش می‌آییم و با استفاده از شدت‌سنجی که بر روی پرتوها انجام می‌دهیم بهره‌ی پراش را محاسبه می‌کنیم. کاری که در ابتدا می‌کنیم این است که ابتدا به جای توری یک آشکار ساز شدت‌سنج قرار می‌دهیم و شدت نور را اندازه‌گیری می‌کنیم.



شکل 66: تعیین بهره‌ی توری پراش (7).

سپس توری را به سر جای خود بازمی‌گردانیم و پرده را عمود بر محور طرح‌واره و در فاصله‌ی 30 سانتی متری قرار می‌دهیم و محل برخورد باریک‌های پراشیده شده از توری را پیدا می‌کنیم.



شکل 67: تعیین بهره‌ی توری پراش (7).

بخش عمده‌ای از باریکه بدون انحراف از توری عبور می‌کند، شدت‌سنج را در نقطه‌ی A قرار داده و شدت را می‌خوانیم، سپس شدت‌سنج را در محل باریکه‌های پراش مرتبه‌های 1 و -1 قرار داده و شدت را می‌خوانیم. اگر این شدت‌ها را به ترتیب با I_0 و I_0' و I_1 و I_2 نشان بدهیم مقادیر به‌دست آمده عبارتند از:

$$I_0' = 2.28 \text{ (m W)}, I_0 = 1.92 \text{ (m W)}, I_1 = 46.7 \text{ (micro W)}, I_{-1} = 47.5 \text{ (micro W)}$$

در این آزمایش ما یکی از شدت‌های بازتابی را نیز اندازه گرفتیم که مقدار آن برای نور بازتابی مربوط به طرح پراش -1، $I = 24.3 \text{ (micro W)}$ بود که همانطور که می‌بینیم نصف مقدار عبوری است.

بنابراین بهره‌ی پراش توری عبارت است از

$$\eta = \frac{I_1}{I_0} \times 100 = \frac{46.7 \mu W}{2.28 mW} \times 100 = 2.04$$

آزمایش - تکرار آزمایش توری پراش با دیود:

وسایل آزمایش: لیزر هلیوم-نئون، توری عبوری پراش 1000 خط بر میلی‌متر، پرده، خط‌کش، دیود

در اینجا آزمایش به این صورت است که این بار به جای نور لیزر از یک دیود استفاده می‌کنیم در نتیجه از آنجایی که زاویه‌ی پراش به طول موج بستگی دارد در نتیجه بسته به نوع دیود یک طیف رنگی را بر روی پرده خواهیم داشت. در اینجا طیفی که ما داشتیم از رنگ بنفش شروع می‌شد و تا رنگ سبز می‌رفت. در این آزمایش می‌خواهیم که پهنای طول موج را حساب کنیم.

ابتدا باید زاویه‌ی پراش ابتدای طیف را به روش‌هایی که در بالا گفته شد به دست آوریم و از روی آن طول موج مربوطه را حساب کنیم سپس همین کار را برای انتهای باند انجام دهیم. اختلاف بدست آمده بازه‌ی طول موج را به ما می‌دهد. در آزمایش که ما انجام دادیم زاویه نور بنفش 11 درجه بود که به ما طول موج 381 نانومتر را می‌دهد. زاویه نور سبز 14 درجه بود که به ما طول موج 483 نانومتر را می‌دهد. بنابراین بازه‌ی طول موجی در اینجا برابر با 102 نانومتر می‌باشد.

پاسخ به پرسشها:

پرسش - نشان دهید که مقدار انتگرال رابطه 1 در تقریب فرانیهوفر با توجه به شکل 1 به صورت زیر خواهد بود:

$$E_p(\omega_x, \omega_y) = \frac{iAe^{-i\vec{k} \cdot \vec{R}_0}}{\lambda R_0} \iint f(x, y) \exp[-i(\omega_x x + \omega_y y)] dx dy$$

که در آن:

$$\omega_x = -\frac{2\pi\zeta}{\lambda R_0}, \omega_y = -\frac{2\pi\eta}{\lambda R_0}$$

و $f(x, y)$ تابع عبور روزنه است.

حل: فاصله P و P_0 عبارت است از

$$\begin{aligned} R^2 &= (x - \zeta)^2 + (y - \eta)^2 + z^2 \\ R_0^2 &= \zeta^2 + \eta^2 + z^2 \\ \Rightarrow R_0^2 - R^2 &= \zeta^2 + \eta^2 + z^2 - (x^2 + \zeta^2 - 2x\zeta - (y^2 + \eta^2 - 2y\eta - z^2) = 2(x\zeta + y\eta) - (x^2 + y^2) \end{aligned}$$

برای r داریم

$$|\vec{r}| = |\vec{R}_0 - \vec{R}| = \frac{R_0^2 - R^2}{R_0 + R} = [2(x\zeta + y\eta) - (x^2 + y^2)] \frac{1}{R_0 + R}$$

بنابراین به روابط زیر می‌رسیم

$$\begin{aligned} \frac{1}{R + R_0} &= \frac{1}{2R_0 + R - R_0} = \frac{1}{2R_0} \left(1 + \frac{R - R_0}{2R_0}\right)^{-1} \\ \Rightarrow R_0 - R &= \left(\frac{x\zeta + y\eta}{R_0} - \frac{x^2 + y^2}{2R_0}\right) \left(1 + \frac{R_0 - R}{2R_0}\right)^{-1} \end{aligned}$$

رابطی زیر شرطی را به ما می‌دهد که در آن اختلاف فاز کوچک باشد

$$\frac{1}{1 - \frac{(R_0 - R)}{2R_0}} \approx \frac{1}{1 - \frac{r}{2R_0}} \approx 1$$

این معادل است که فرض کنیم روزنه کوچک است. بنابراین برای انتگرال داریم

$$E_p = iA \frac{e^{-ik.R_0}}{\lambda R_0} \iint_{\Sigma} f(x, y) \exp[ik(\frac{x\zeta + y\eta}{R_0} - \frac{x^2 + y^2}{2R_0})] dx dy$$

که A دامنه موجی است که از روزنه عبور می کند. و در نهایت

$$\omega_x = -\frac{2\pi\xi}{\lambda R_0}, \omega_y = -\frac{2\pi\eta}{\lambda R_0}$$

$$\Rightarrow E_p(\omega_x, \omega_y) = \frac{iAe^{-i\vec{k} \cdot \vec{R}_0}}{\lambda R_0} \iint f(x, y) \exp[-i(\omega_x x + \omega_y y)] dx dy$$

پرسش - نقشه‌های پراش برای موانع و روزنه‌ها چه تفاوتی با یکدیگر دارند؟ چرا؟

حل: طبق انتگرال فرنل داریم

$$E(r_0) = \iint Af(r) \frac{1}{R} e^{-i\vec{k} \cdot \vec{R}} d\vec{r}$$

در اینجا می‌آییم و بسط می‌دهیم

$$E = \iint_s Af(r) \frac{1}{R_0} \exp\{-ik(R_0 + \frac{1}{2} \frac{r^2}{R_0^2} + \dots)\} d^2 r$$

$$= \frac{Ae^{-ikR_0}}{R_0} \iint f(r) \exp(-ik \frac{r^2}{2R_0}) dr$$

- روزنه دایروی

$$r^2 = S \Rightarrow E = \frac{A\pi}{d_0} e^{-ikR_0} \int_0^{\rho^2} \exp(\frac{-ikS}{2d_0}) dS$$

$$= \frac{A\pi}{d_0} \frac{2d_0}{ik} \{\exp(\frac{-ik}{2d_0} \rho^2) - 1\} e^{-ikR_0}$$

$$\Rightarrow EE^* = \frac{8A^2\pi^2}{k^2} (1 - \cos \frac{k\rho^2}{2R_0})$$

اگر نقطه مشاهده در روی محور Z جابجا شود، شدت در مرکز به طور تناوبی بین صفر و $\frac{8A^2\pi^2}{k^2}$ تغییر می کند.

- مانع دایروی

$$\begin{aligned}
E &= \frac{A\pi}{R_0} \int_{\rho^2}^{\infty} \exp\left(\frac{-ikS}{2R_0}\right) dS \\
&= \frac{A\pi}{R_0} \frac{2R_0}{ik} \left\{ \exp(-i\infty) - \exp\left(\frac{-ik\rho^2}{2R_0}\right) \right\} \\
\Rightarrow EE^* &= 4 \frac{A^2 \pi^2}{k}
\end{aligned}$$

در این جا همانطور که می بینید همواره در مرکز تصویر شدت بیشینه وجود دارد.

پرسش - در دو حالت روزنه های دایره ای و راست گوشه ای این تفاوتها چگونه است؟

حل: تفاوت در فریزهایی است که درست می کنند در اولی فریزهای دایروی درست می شود و در حالت دوم فریزهای راست گوشه درست می شود.

پرسش - رابطه تغییرات بوجود آمده در نقش پراش با پهنای شکاف چگونه می باشد؟ چرا اینگونه است؟

حل: برای توزیع شدت داریم

$$\begin{aligned}
I(\theta) &= I(0) \sin^2 \left(\frac{\pi \omega \sin \theta}{\lambda} \right) \\
A(\theta) &= \int_{-\frac{\omega}{2}}^{\frac{\omega}{2}} F(x) \exp\left(\frac{i2\pi x \sin \theta}{\lambda} \right) dx \\
F(x) &= \begin{cases} F_0 \rightarrow |y| < \frac{\omega}{2} \\ 0 \rightarrow |y| > \frac{\omega}{2} \end{cases} \\
\Rightarrow A(\theta) &= A(0) \sin \left(\frac{\pi \omega \sin \theta}{\lambda} \right)
\end{aligned}$$

پرسش - تفکیک توری پراش عاملی است که ما را مجبور می کند که ثابت توری را کاهش دهیم. چرا؟

حل: از آن جایی که قدرت تفکیک با N رابطه‌ی مستقیم دارد بنابراین برای افزایش قدرت تفکیک می‌بایستی که N زیاد شود. از طرفی N با ثابت توری رابطه‌ی معکوس دارد بنابراین تفکیک توری پراش عاملی است که ما را مجبور می‌کند که ثابت توری را کاهش دهیم.

پرسش - با کمک رابطه 3 ثابت توری را حساب کنید و آن را با مقداری که سازنده توری مشخص کرده مقایسه و خطا را بدست آورید.

حل: مطابق رابطه پراش داریم

$$d(\sin \psi - \sin \varphi) = m\lambda$$

داریم

$$\sin \psi = \frac{(24 \pm 1)}{(46 \pm 1)} = 0.52 \pm 0.03 \quad \text{و} \quad \lambda = 632.8 \quad \text{و} \quad m = 1 \quad \text{و} \quad \varphi = 0$$

برای ثابت توری داریم

$$d = \lambda / \sin \psi = 632.8 / 0.52 = 1216 \pm 56.43 \quad nm$$

$$\delta(x/y) = \left| \frac{\delta x}{y} \right| + \left| \frac{x \delta y}{y^2} \right| = 1/45 + 26/2025 = 0.03$$

پرسش - I_0 و I_1 و I_2 را با هم جمع کنید و با مقدار I_0' مقایسه کنید. باید این مقادیر خیلی نزدیک هم بدست بیایند. چرا؟

حل: با توجه به مقادیری که در آزمایش به دست آوردیم یعنی

$$I_0' = 2.28 \text{ (m W)}, I_0 = 1.92 \text{ (m W)}, I_1 = 46.7 \text{ (micro W)}, I_{-1} = 47.5 \text{ (micro W)}$$

از جمع شدت‌ها به دست می‌آوریم 2.02 میکرو وات که نزدیک میزان 2.28 می‌باشد. اختلاف ناشی از این مطلب است که میزانی منحرف شده و میزانی هم عبور نکرده و بازتابیده شده. البته خطای موجود در اندازه‌گیری نیز باید لحاظ گردد.

1. **Eugene Hecht, Alfred Zajak**, (1974), *optics*, Addison-Wesley.
2. **Robert D. Guenther**, (1990), *Modern Optics*, John Wiley & Sons.
3. **Ajoy Ghatak**, *Optics*.
4. **F. Graham Smith**, (2000), *Optics and Photonics*, John Wiley & Sons.
5. **S. G. Lipson, H. Lipson**, (1993), *Optical Physics*, Cambridge University Press.

6. مرتضیٰ عریضی، (1367)، روش‌های نوین عکاسی، انتشارات امیرکبیر.

7. جزوه‌ی درسی مربوط به آزمایشگاه اپتیک.

8. <http://www.sensormag.com>