تداخل به وسیله دو شکاف یانگ و دو منشور فرنل

پارسا رنگریز
۹۷۱۱۰۳۱۴

آزمایشگاه اپتیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف

۴ آبان ۱۴۰۰

چکیده

در این آزمایش با دو تداخل سنج مهم در آزمایشگاه اپتیک آشنا می‌شویم. در واقع با پدیده تداخل در آزمایش یانگ و با پدیده تداخل در دو منشور فرنل آشنا می‌شویم و فاصله دو شکاف و فاصله دو نوار متوالی را حساب می‌کنیم. ضمنا زاویه راس منشور فرنل را بدست آورده و علاوه بر آن طول موج لیزر هلیوم نئون را محاسبه می‌کنیم.

۱ مدل و نظریه

تداخل را می‌توان بر همکنش دو یا چند موج دانست که شدت برآیند آنها، تابعي از اختلاف فاز بین امواج مي‌باشد. بطور كلي پديده تداخل به دو قسمت مي‌شود.
۱) تداخل با دو موج
۲) داخل با چند موج
گروه اول (تداخل با دو موج) بر اساس ابزارهاي تداخل سنجي به كار رفته به دو دسته تقسيم مي‌شود.
الف_ تداخل به وسيله تداخل سنجهاي شكافنده جبهه موج
ب _تداخل به وسيله تداخل سنجهاي شكافنده دامنه موج
در دسته اول، بخشهايي از جبهه موج اوليه، يا مستقيما همچون جبهه‌هاي گسيلنده امواج ثانويه، يا، در ارتباط با ابزارهاي نوري، براي توليد چشمه‌هاي مجازي امواج ثانويه به كار مي‌روند. سپس اين امواج به هم رسانده شده و با هم تداخل مي‌كنند. در اين دسته مي‌توان از تداخل بوسيله دو شكاف يانگ، دو منشور فرنل، دو آينه فرنل و آينه لويد نام برد.

در دسته دوم، كل موج اوليه به دو بخش تقسيم مي‌شود كه قبل از تركيب مجدد و تداخل، مسيرهاي متفاوتي را مي‌پيمايند. در اين دسته ميتوان از تداخل سنج مايكلسون و تداخل سنج ساگناک نام برد.

در تداخل چند موجي، يک باريكه موازي بوسيله بازتاب‌ها و شكست‌هاي متوالي به چندين باريكه موازي وهمدوس تقسيم مي‌شود سپس اين باريكه‌ها با يكديگر تداخل مي‌كنند (مانند تداخل در يک تيغه شيشه‌اي وتداخل بوسيله گوه هوا). هر گاه دو موج همدوس با يكديگر تركيب شوند با استفاده از اصل برهم نهي مي‌توان تداخل بوسيله گوه هوا). هر گاه دو موج همدوس با يكديگر تركيب شوند با استفاده از اصل برهم‌نهي مي‌توان نشان داد كه، شدت تابيدگي كل از رابطه زير بدست مي آيد:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\delta \tag{۱}$$

كه در آن δ اختالف فازي است كه از اختلاف بين دو مسير ناشي مي‌شود و مقدار آن از رابطه زير بدست مي‌آيد:

$$\delta = K(r_1 - r_2) = \frac{2\pi}{\lambda}(r_1 - r_2) \tag{۲}$$

بيشينه شدت هنگامي بدست مي‌آيد كه $\cos\delta = 1$ و اين در صورت است كه اختلاف فاز بين دو موج مضرب زوجي از π باشد. اين حالت را تداخل سازنده مي‌نامند. كمينه شدت هنگامي بدست مي‌آيد كه امواج ۱۸۰ درجه اختالف فاز داشته باشند يعني $\cos\delta = -1$ و اين در حالتي است كه اختالف فاز بين دو موج مضرب فردي از π باشد. اين حالت را تداخل ويرانگر مي‌نامند. بنابراين معادلات مربوط به شدت بيشينه و كمينه به صورت زير در مي‌آيند:

$$K(r_1 - r_2) = \frac{2\pi}{\lambda}(r_1 - r_2) = 2m\pi \tag{۳}$$

$$K(r_1 - r_2) = \frac{2\pi}{\lambda}(r_1 - r_2) = (2m+1)\pi \tag{۴}$$

۲ وسایل آزمایش

طيف سنج، دو شكاف يانگ، لامپ سديم و منبع تغذيه، ليزر هليوم نئون، دو منشور فرنل، دو عدد عدسي، خط كش چوبي، كوليس، ريل اپتيكي و پايه‌هاي لازم

۳ روش آزمایش

۱.۳ تداخل بوسیله دو شکاف یانگ

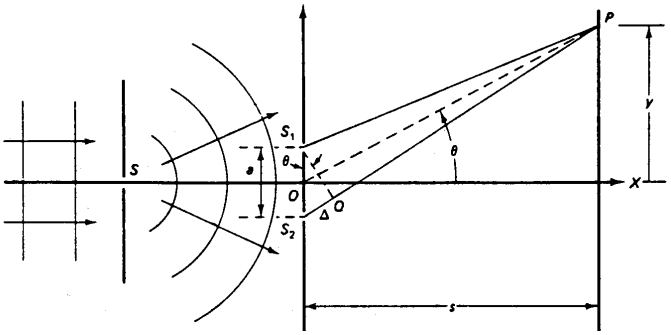
هنگامي كه دو شكاف باريک در مسير نور قرار گيرد تبديل به دو چشمه نور همدوس مي شود كه امواج حاصل از آنها مي‌توانند با يكديگر تداخل كنند. اين تداخل به صورت نوارهاي تاريک و روشن ظاهر مي‌گردد. با توجه به شكل فوق اختلاف مسير را می‌توان چنين بيان كرد.

$$r_1 - r_2 = a\sin\theta \approx a\theta \qquad (۵)$$

با استفاده از روابط ۳ـ۴ و ۵ـ۴ براي فريز روشنmام رابطه زير به دست می‌آيد:

$$a\theta = m\lambda \qquad (۶)$$

براي انجام آزمايش ابتدا طيف سنج را آماده كنيد. براي آشنايي با روش تنظيم طيف سنج به آزماش اول مراجعه كنيد. لامپ سديم را مقابل شكاف موازي ساز

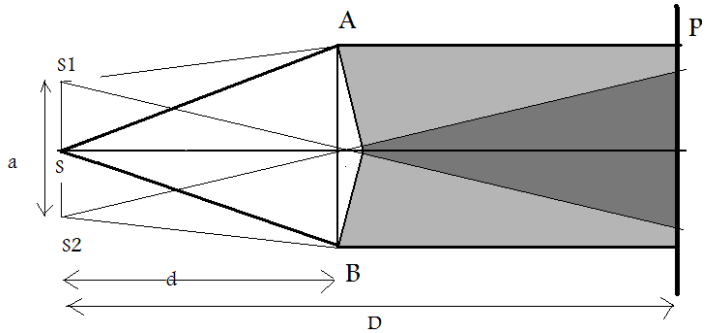


شكل ۱: آزمايش دوشكاف يانگ

قرار داده و تار موئي دوربين را بر روي تصوير شكاف تنظيم كرده و صفر حامل را بر روي صفر صفحه متحرک منطبق كنيد. با قرار دادن دو شكاف يانگ در محل مخصوص آن، تار موئي را روي نوار مركزي يا يكي از نوارهاي روشن ميزان كرده و زاويه را بخوانيد. با چرخش جزئي دوربين حداقل تعداد پنج نوار روشن را رد كرده و مجددا زاويه را بخوانيد. (مطابق با عكس شماره ۱). تفاضل دو زاويه ي فوق را محاسبه كنيد. اين آزمايش را حداقل سه بار تكرار كرده و نتايج را در جدول يادداشت كنيد. ميانگين زاويه θ را بدست آورده و مقدار a يعني فاصله بين دو شكاف را با استفاده از رابطه ۴ بدست آوريد. طول موج نور زرد سديم را ۵۸۹۳ آنگستروم بگيريد.

۲.۳ تداخل بوسیله دو منشور فرنل

همانگونه كه در شكل ۲ نشان داده شده است، منشور دوگانه فرنل شامل دو منشور نازک است كه قاعده‌هاي آنها به هم چسبيده‌اند. يک جبهه موجه به دو منشور برخورد مي‌كند، بخش پاييني جبهه‌ي موج به سوي بالا و بخش بالايی به سوي پايين مي‌شكند. در نتيجه در ناحيه‌اي از فضا اين دو موج با هم تداخل كرده و نوارهاي باريک و روشن را بوجود مي‌آورند. براي انجام آزمايش وسايل را مطابق شكل زير روي ريل اپتيكي قرار مي دهيم. نور ليزر را طوري تنظيم كنيد كه از ميان

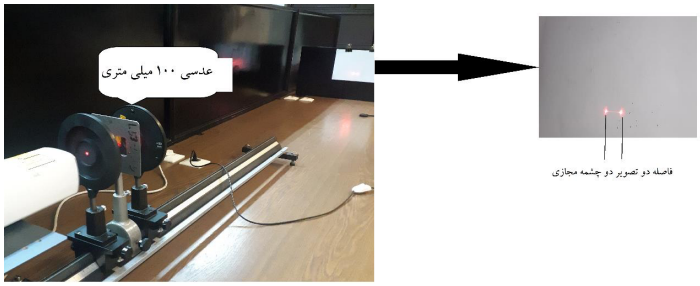


شكل ۲: آزمايش منشور فرنل

عدسي عبور كرده و به دو منشور بتابد. در اين حال نوارهاي تداخلي را روي پرده مشاهده مي‌كنيد. تنظيم را طوري انجام دهيد كه نوارها به خوبي قابل مشاهده و قابل شمارش باشند. روي يكي از نوارها علامت بزنيد. حداقل بيست نوار را رد كرده و روي آخرين نواري كه شمرده‌ايد نيز علامت بگذاريد. فاصله دو علامت را بوسيله كوليس اندازه بگيريد. با دانستن فاصله نوارها و تعداد آنها فاصله دو نوار را محاسبه نماييد. محل عدسي و دو منشور فرنل را از روي ريل خوانده و محل پرده را بوسيله خط كش اندازه بگيريد. اين كار را حداقل پنج بار انجام دهيد. كليه مقادير بدست آمده را در جدول يادداشت كنيد.
توجه: محل عدسي و دو منشور فرنل را براي آزمايش بعدي تغيير ندهيد.

شکل ۳: ستاپ آزمایشگاهی

۳.۳ اندازه‌گیری طول موج نور لیزر هلیوم نئون



شکل ۴: ستاپ آزمایشگاهی

با استفاده از رابطه ۴ میتوان نشان داد که پهناي نوارهاي متوالي (فاصله دو نوار روشن یا تاریک) از رابطه زیر بدست مي‌آید

$$i = \frac{\lambda D}{a} \tag{۷}$$

که در آن، a، فاصله دو چشمه نوري S_1 و S_2، D فاصله چشمه تا صفحه مشاهده مي باشد. کمیتهايi و D در آزمایش دوم اندازه گیري شده اند، با دانستن a میتوان مقدار طول موج نور لیزر، λ، را مشخص کرد. براي اندازه گیري a، بدون آنکه به ترتیب و مکان وسایل آزمایش قبلي دست بزنید؛ عدسي دوم $f = 100mm$ را بین دو منشور فرنل و پرده نمایش قرار دهید. (مطابق با عکس شماره ۲) . مکان عدسي را بگونه اي تنظیم کنید که تصویر دو چشمه نور مجازي را به وضوح روي پرده ببینید. فاصله دو چشمه نور مجازي را با کولیس اندازه بگیرید (a'). فاصله چشمه تا عدسي $f = 100mm$ و فاصله پرده وعدسي $(P')f = 100mm$ را یادداشت کنید ؛این کار را حداقل سه بار تکرار نمایید. (مي توانید محل پرده و عدسي $f = 100mm$ را تغییر دهید. اما محل عدسي $f = 5mm$ و دو منشور فرنل نباید تغییر کند.) نتایج بدست آمده را در جدول یادداشت کنید. با استفاده از رابطه زیر فاصله دو چشمه مجازي را بدست آورید

$$\frac{a}{a'} = \frac{p}{p'} \tag{۸}$$

با استفاده از رابطه ۴، طول موج نور لیزرهاي هلیوم نئون را محاسبه کرده و در جدول یادداشت کنید.

۴.۳ اندازه‌گیري زاویه رأس منشور فرنل

این قسمت آزمایش احتیاج به اندازه گیري نداشته و مي توانید از نتایج بدست آمده در آزمایشهاي قبلي استفاده کنید. اگر A زاویه رأس منشور وα زاویه انحراف نور باشد، براي منشورهاي نازک که در هوا قرار دارند، داریم:

$$\alpha = A(n-1) \tag{۹}$$

که در آن n ضریب شکست منشور مي‌باشد. از طرفي با توجه به شکل ۴ داریم:

$$\frac{a}{2} = d\alpha = d(n-1)A \tag{۱۰}$$

بنابراین با دانستن فاصله دو منشور فرنل تا منبع نوري،d، و ضریب شکست منشور،n، میتوان زاویه رأس را از رابطه زیر بدست آورد:

$$A = \frac{a}{2(n-1)d} \tag{۱۱}$$

با استفاده از رابطه ي بالا براي $n = 1.52$ زاویه رأس منشور را محاسبه کرده و مقدار آن را در جدول بنویسید.

۴ جدول دادهها

جدول ۱: تداخل بوسیله دو شکاف یانگ

θ_1	θ_2	$\theta = \theta_2 - \theta_1$	n	$\theta_n = \theta/n$	λ	a
$-10'$	$26'$	$36'$	5	$7^o20'$	$5893A$	$281.37\mu m$
$-27'$	$10'$	$37'$	5	$7^o40'$	$5893A$	$27376\mu m$
$-11'$	$25'$	$36'$	5	$7^o20'$	$5893A$	$281.37\mu m$

جدول ۲: تداخل بوسیله دو منشور فرنل

D	d	l	n	$i = 1/n$
$227.2cm$	$5.9cm$	2.994	20	$1.497mm$
$227.2cm$	$5.9cm$	2.992	20	$1.496mm$
$227.2cm$	$5.9cm$	2.990	20	$1.495mm$

جدول ۳: دادههای ثبت شده برای فاصله بین تصویر دو چشمه مجازی نور

P	P'	a'	a
$10.8cm$	$216.4cm$	$1.992cm$	$0.994mm$
$10.8cm$	$216.4cm$	$1.994cm$	$0.995mm$
$10.8cm$	$216.4cm$	$1.992cm$	$0.994mm$

۵ خطا

۱.۵ آزمایش اول

خطای کمیت θ از رابطه زیر بدست میآید:

$$\Delta\theta = \sqrt{\Delta\theta_1^2 + \Delta\theta_2^2} \tag{۱۲}$$

همچنین خطای a را میتوان نوشت

$$a = \frac{\lambda}{\theta} \implies \Delta a = \sqrt{\frac{\Delta\lambda^2}{\theta^2} + \frac{\lambda^2}{\theta^4}\Delta\theta^2} \tag{۱۳}$$

عوامل خطای این آزمایش نیز به صورت زیر هستند:

- خطای منطبق کردن دستگاه بر وسط نوار روشن
- خطای تنظیم طیف سنج
- عمود قرار ندادن دوشکاف پرتوی خروجی از موازیساز
- خطای دستگاه و آزمایشگر

۲.۵ آزمایش سوم

خطای فاصله دو منبع نور مجازی a را با داشتن خطای P و P' می‌توان محاسبه کرد. چون از خطکش برای این فاصله‌سنجی استفاده شده است پس دقت آن میلی‌متری است، بنابراین

$$\Delta a = \sqrt{\left(\frac{a'}{P'}\right)^2 \Delta P^2 + \left(\frac{P}{P'}\right)^2 \Delta a'^2 + \left(\frac{aP}{P'^2}\right)^2 \Delta P'^2} \quad (۱۴)$$

همچنین خطای طول موج از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\Delta\lambda = \sqrt{\left(\frac{i}{D}\Delta a\right)^2 + \left(\frac{a}{D}\right)^2 \Delta i^2 + \left(\frac{ai}{D^2}\right)^2 \Delta D^2} \quad (۱۵)$$

عوامل خطای این آزمایش نیز به صورت زیر هستند:

- خطای فاصله منبع عدسی تا پرده
- خطای نزدیک نبودن کافی عدسی ۱۰۰ میلی‌متری به دو منشور فرنل
- زاویه دار و کج بودن هر یک ازعدسی‌ها یا دو منشور
- خطای عدم ثابت ماندن عدسی
- خطای دستگاه‌ها و آزمایشگر

۳.۵ آزمایش چهارم

از رابطه ۱۱ اگر استفاده کنیم، خطای این کمیت بدست می‌آید:

$$\Delta A = \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{2(n-1)d}\right)^2 + \left(\frac{a}{2(n-1)d^2}\Delta d\right)^2} \quad (۱۶)$$

۶ نتیجه‌گیری

۱.۶ آزمایش اول

از جدول آزمایش اول می‌توان نوشت:

$$\boxed{\langle a\rangle = 280 \pm 20\mu m} \quad (۱۷)$$

همچنین خطای کمیت‌های θ_1 و θ_2 به ترتیب 0.1^o و 0.1^o است. بنابراین خطای کمیت θ برابر است با

$$\boxed{\theta = 7.3 \pm 0.2^o} \quad (۱۸)$$

۲.۶ ازمایش دوم

خطاها را برای فاصله بین دو نوار روشن متوالی می‌توان محاسبه کرد که همان انحراف معیار است

$$\boxed{\sigma_i = 8 \times 10^{-5} cm} \quad (۱۹)$$

۳.۶ آزمایش سوم

در این آزمایش مطابق رابطه ۸ می‌توان فاصله دو چشمه نور مجازی را بدست آورد. از رابطه ۷ نیز می‌توان استفاده کرد و طول موج را بدست آورد. با استفاده از آنچه در بخش خطای آزمایش نوشته شده است خطاها را می‌توان خطای پراکندگی را نوشت

$$\sigma_{a'} = 9 \times 10^{-4} cm \quad (۲۰)$$

بنابراین خطای فاصله دو منبع نور مجازی a نیز از رابطه موجود در بخش خطا بدست می‌آید.

جدول ۴: محاسبه طول موج لیزر هلیم نئون

i	α	D	λ
$1.50mm \pm 0.02mm$	$0.994mm \pm 0.009mm$	$227.2 \pm 0.1cm$	$6500A \pm 100A$

۴.۶ آزمایش چهارم

جدول ۵: محاسبه زاویه راس منشور

α	d	n	A
$0.994mm \pm 9 \times 10^{-3}mm$	$5.9cm \pm 0.1cm$	1.52	$0.928^o \pm 0.017^o$