کار با تداخل‌سنج مایکلسون

پارسا رنگریز
۹۷۱۱۰۳۱۴

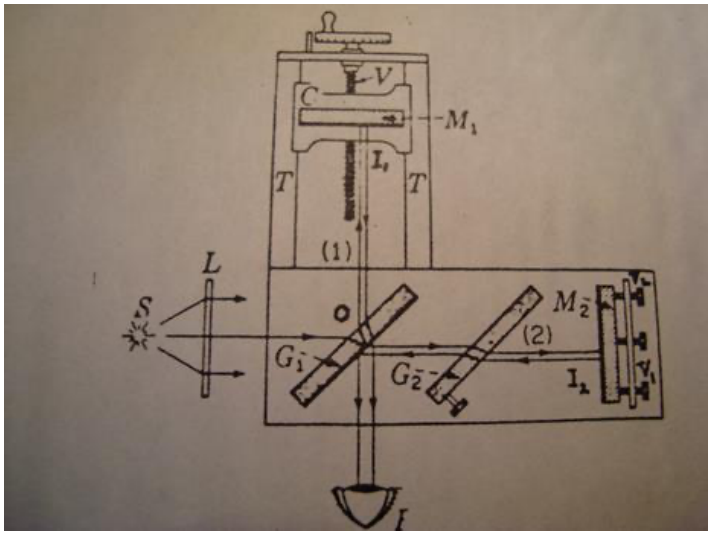
آزمایشگاه اپتیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف

۳ آذر ۱۴۰۰

۱ مقدمه

۱.۱ تداخل‌سنج مایکلسون

تداخل سنج مایکلسون مطابق شکل از دو آینه M_1 و M_2 که بر هم عمودند و دو تیغه هم جنس و هم ضخامت G_1 و G_2 که با یکدیگر موازی بوده و با آینه‌ها زاویه ۴۵ درجه می‌سازند، تشکیل شده است. برای تغییرات جزیی آینه M_2 از دو پیچ $V1$ و V_2 استفاده می‌شود. یک چشمه گسترده (معمولا یک تیغه شیشه مات پخش‌کننده نور که بوسیله یک لامپ تخلیه روشن شده است) موجی را می‌فرستد که بوسیله سطح پایینی تیغه G_1 که نقره‌اندود است دو قسمت می‌شود. یک قسمت بازتاب می‌شود و در امتداد L_1 به آینه M_1 برخورد کرده و در همین جهت برمی‌گردد. قسمت دیگر از تیغه G_2 عبور کرده روی آینه M_2 در جهت امتداد



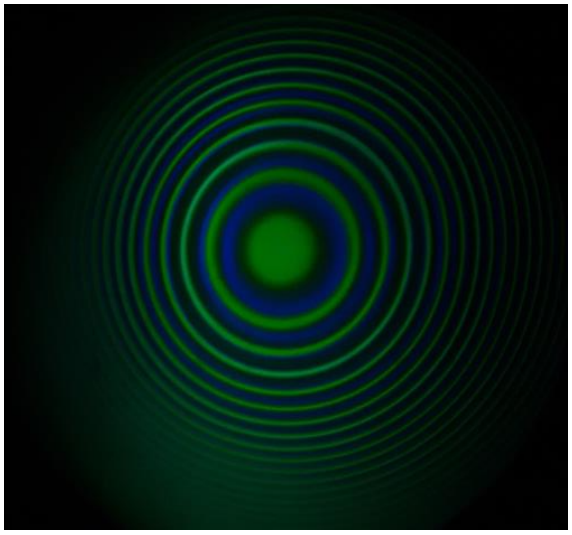
شکل ۱: تداخل‌سنج مایکلسون

اولیه بازتاب می‌کند. این دو باریکه با هم تداخل کرده و تشکیل فریزهای دایره‌ای می‌دهند. تیغه G_2 در ایجاد فریزها اثری ندارد و فقط برای خنثی‌کردن اختلاف راه نوری ناشی از تیغه G_1 در مسیر باریکه‌های عبوری قرار می‌گیرد.

برای تنظیم دستگاه منبع نور سفید را روشن کنید بطوری که نور روی دو آینه را بپوشاند. در نقطه E به آینه M_1 نگاه کنید بایستی تصویر M_2 در آن دیده شود. با تغییر دادن پیچ‌های V_1 و V_2 دو تصویر رشته لامپ سفید را بر یکدیگر منطبق کنید. پس از اینکه با نور سفید دستگاه را تنظیم کردید، لامپ جیوه را روشن کرده و پیچ‌های V_1 و $V2$ را حرکت جزئی دهید تا فریزهای دایره‌ای مشاهده شوند که می‌بایستی مرکزشان وسط میدان دید باشد. اگر مرکز فریزها کنار بود با تغییر جزئی پیچ‌های V_1 و V_2 می‌توانید این فریزها را به وسط بیاورید.

۲.۱ همسازی و ناهمسازی دو طول موج

طیف لامپ سدیم از دو طول موج نزدیک به هم تشکیل شده است. در صورتیکه تداخل‌سنج را با لامپ سدیم روشن کنیم، دو سیستم فریزهای دایره‌ای بوجود می‌آید. حالتی که فریزهای دو سیستم منطبق باشند را همسازی گویند. اگر به تدریج فاصله بین دو آینه را تغییر دهیم به حالتی می‌رسیم که فریز روشن یک سیستم بر روی فریز تاریک سیستم دیگر قرار می‌گیرد و چون دو طول موج نزدیک به هم هستند، میدان دید بطور یکنواخت روشن خواهد بود که این حالت را ناهمسازی می‌گویند. اگر طول موج زرد سدیم را به ترتیب λ_1 و λ_2 بگیریم، در حالت ناهمسازی رابطه زیر برقرار است



شکل ۲: تصویر فریزها

شکل ۳: همسازی و ناهمسازی

$$2d = m\lambda_1 = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda_2 \tag{۱}$$

که در آن m شماره فریز است. حال اگر بین دو ناهمسازی متوالی n فریز در سیستم λ_1 وجود داشته باشد $n+1$ فریز در سیستم λ_2 وجود خواهد داشت و در نتیجه برای ناهمسازی بعدی می‌توان نوشت

$$2d' = (m+n)\lambda_1 = \left(m+n+\frac{3}{2}\right)\lambda_2 \tag{۲}$$

از تفاضل دو رابطه بالا داریم

$$2(d'-d) = n\lambda_1 = (n+1)\lambda_2 \tag{۳}$$

یا می‌توان نوشت

$$n\lambda_1 = (n+1)\lambda_2, \quad 2(d'-d) = n\lambda_1 \tag{۴}$$

حال اگر n را از روابط بالا حذف کنیم، خواهیم داشت

$$\lambda_1 - \lambda_2 = \frac{\lambda_1\lambda_2}{2(d'-d)} \tag{۵}$$

در رابطه بالا، $d'-d$ فاصله بین دو ناهمسازی متوالی است که آن را با l نشان می‌دهیم و داریم

$$\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2 = \frac{\lambda_1\lambda_2}{2l} \tag{۶}$$

۲ وسایل آزمایش

تداخل‌سنج مایلکسون، لامپ سفید، لامپ جیوه، منبع تغذیه، لامپ سدیم، پالایه سبز، پخش‌کننده نور

۳ روش آزمایش

۱.۳ آزمایش اول

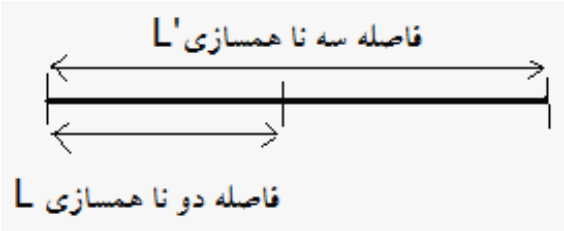
مطابق شکل اول، در کنار آینه M_1 پیچ ریزسنجی قرار دارد که آینه را در امتداد $OI1$ تغییر مکان می‌دهد و با حرکت دادن این پیچ فریزها در مرکز محو یا ظاهر می‌شوند. همانطوریکه می‌دانید تغییر مکان پیچ ریزسنج تداخل‌سنج تغییر فاصله بین دو آینه $M1$ و $M2$ را نمی‌دهد. برای پیدا کردن این رابطه و مدرج کردن دستگاه از نور تکفام لامپ جیوه با طول موج $\lambda = 5460A$ استفاده می‌کنیم (پالایه سبز را مقابل لامپ جیوه قرار دهید). در حالیکه فریزها کاملا آشکار هستند درجه ریزسنج را یادداشت کنید و آنگاه پیچ ریزسنج را در جهتی که فریزها در مرکز ظاهر (محو) می‌شوند به آرامی بچرخانید و با دقت کامل تعداد صد فریز را شمرده و تغییر مکان را از روی پیچ ریزسنج خوانده و یادداشت کنید. اگر تغییر مکان ریزسنج را با D نشان دهیم، از طرف دیگر با دانستن $n = 100$ و $\lambda = 5460A$ با استفاده از رابطه

$$2d = n\lambda \qquad (۷)$$

می‌توان فاصله بین دو آینه یعنی d را بدست آورد. با استفاده از مقدار d نسبت $\frac{d}{D}$ را محاسبه کرد. این اندازه‌گیری را پنج‌بار تکرار کنید و نتایج حاصل را در جدول یادداشت کنید.

۲.۳ آزمایش دوم

با دقت لامپ سدیم را بجای لامپ جیوه قرار داده و سعی کنید که به سایر قسمت‌های دستگاه دست نزنید. در این حالت تنظیم اولیه دستگاه برقرار بوده و با تغییر بسیار جزئی V_1 و V_2 می‌توان فریزهای مربوط را مشاهده کرد. پیچ ریزسنج مخصوص انتقال آینه M_1 را بچرخانید تا فریزها محو شوند (حالت ناهمسازی). اگر فریزها کاملا محو نمی‌شوند و ناهمسازی واضح نیست، بطور تقریب بهترین محل را پیدا کنید. برای نتیجه بهتر همواره پیچ ریز سنج را در یک جهت بچرخانید و در صورتیکه از ناهمسازی بعدی گذشتید، مقدار زیادی به عقب برگردید و دوباره جهت حرکت را عوض کنید تا به ناهمسازی مربوطه برسید. هنگامی که پیچ ریز سنج را برای ناهمسازی اول میزان کردید عدد مربوط را از روی پیچ یادداشت کرده و دوباره پیچ انتقال را بچرخانید تا از ناهمسازی دوم گذشته و به ناهمسازی سوم برسید. این فاصله بین سه ناهمسازی متوالی را مطابق شکل با L' نشان دهید و مطابق شکل می‌توانید فاصله بین دو ناهمسازی متوالی یعنی L را که برابر با نصف L' است، محاسبه کنید. این آزمایش را برای دقت بیشتر حداقل سه بار انجام دهید.



شکل ۴: فاصله ناهمسازی‌ها

۴ جدول داده‌ها

جدول ۱: مدرج کردن تداخل‌سنج مایکلسون

N	n	$D(mm)$	$d(mm)$	$\frac{d}{D}$
1	102	0.14	0.0288	0.21 ± 0.01
2	96	0.13	0.0271	0.21 ± 0.02
3	99	0.14	0.0279	0.20 ± 0.01

جدول ۲: تعیین اختلاف طول موج دو خط زرد سدیم

N	$L'(mm)$	$L(mm)$	$\Delta\lambda(A)$
1	2.97	1.485	5.73 ± 0.03
2	2.88	1.440	5.91 ± 0.03
3	2.89	1.445	5.89 ± 0.03

۵ خطا

۱.۵ آزمایش اول

خطای اندازه‌گیری ریزسنج، برابر است با $D = 0.01mm$ و خطای تغییر فاصله دو آینه برابر است با

$$\Delta d^2 = \frac{1}{2}((\lambda\Delta n)^2 + (n\Delta\lambda)^2) = 0.0003mm \quad (۸)$$

و همچنین

$$\Delta\left(\frac{d}{D}\right)^2 = \left(\frac{\Delta d}{D}\right)^2 + \left(\frac{d\Delta d}{D^2}\right)^2 = 0.02 \quad (۹)$$

۲.۵ آزمایش دوم

خطای L' را که فاصله سه ناهمسازی متوالی است برابر است با $\Delta L' = 0.01mm$ و خطای فاصله دو ناهمساز می‌شود $\Delta L = 0.005mm$. علاوه بر این، خطای طول موج را می‌توان نوشت

$$\Delta(\Delta\lambda) = \frac{\lambda_1\lambda_2}{2l^2}\Delta l = 0.49 \quad (۱۰)$$

۶ نتیجه‌گیری

اکنون نوبت به آن رسیده که مقادیر λ_1 و λ_2 را حساب کنیم که برابرند با

$$\boxed{\lambda_1 = 5895.9A, \quad \lambda_2 = 5890.1A} \quad (۱۱)$$

همانطور که دیده می‌شود اختلاف بسیار کمی دارند.