

عنوان آزمایش:

حلقه‌های نیوتن در نور تکفام عبوری

اهداف آزمایش:

- ۱- نمایش حلقه‌های نیوتن در نور عبوری از یک سیستم حلقه‌های تداخلی بین یک صفحه شیشه‌ای تخت و یک عدسی تخت- محدب؛
- ۲- تعیین شعاع خمش عدسی تخت- محدب با اندازه‌گیری حلقه‌های نیوتن هنگامی که با نور زرد طیف سدیم روشن می‌شود؛
- ۳- بررسی وابستگی حلقه‌های نیوتن به طول موج نور با روشن‌سازی به وسیله نور تکفام از طیف جیوه.

تئوری آزمایش:

در تولید حلقه‌های نیوتن، یک عدسی محدب با خمیدگی بسیار کم به گونه‌ای قرار می‌گیرد که در تماس با صفحه شیشه‌ای تخت باشد. این چیدمان گوه‌ای از هوا را شکل می‌دهد که یکی از سطوح مرزی آن سطح خمیده کروی است. هنگامی که این چیدمان به وسیله نور موازی‌ای که به صورت عمود تابیده می‌شود، روشن‌سازی حلقه‌های هم‌مرکزی حول نقطه‌ای که دو سطح در تماس با یکدیگر هستند، شکل می‌گیرد. این حلقه‌ها هم به صورت بازتابی و هم به صورت عبوری مشاهده می‌شوند. از آنجایی که یکی از سطوح مرزی «گوه هوا» خمیده است، فاصله بین حلقه‌ها با یکدیگر مساوی نیستند. شکل (۱ الف) طرح اولیه گوه هوا و شکل (۱ ب) موج نوری‌ای که از سمت چپ آمده و به «گوه هوا» بین دو صفحه شیشه‌ای با ضخامت d برخورد می‌کند را نشان می‌دهد. موج جزئی T_1 در سطح مرزی سمت چپ بین صفحه شیشه‌ای و «گوه هوا» بازتاب می‌شود. موج جزئی T_2 از میان «گوه هوا» عبور می‌کند و بازتاب موج جزئی T_3 از سطح مرزی سمت راست همراه با جابه‌جایی (شیفت) فاز مانند آنچه در بازتاب از یک محیط با ضریب شکست بالاتر وجود دارد، همراه است. موج جزئی T_4 ابتدا از سطح مرزی سمت راست و سپس از سطح مرزی سمت چپ بازتاب می‌یابد و فاز آن هر بار جابه‌جا می‌شود. امواج جزئی اضافه، که در اینجا با T_5 نشان داده شده‌اند، با بازتاب‌های چندگانه از «گوه هوا»، با جابه‌جایی‌های فازی متناظر خلق می‌شوند. حال می‌توان تداخل امواج جزئی T_1 ، T_3 و امواج جزئی بیشتر در بازتاب و T_2 ، T_4 و امواج جزئی بیشتر در نور عبوری را مشاهده کرد.

اختلاف مسیر Δ بین T_2 و T_4

$$\Delta = 2d + 2\frac{\lambda}{2}$$

(۱)

است. شرط تداخل سازنده به قرار زیر است:

$$\Delta = n \cdot \lambda, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

این شرط زمانی برآورده می‌شود که

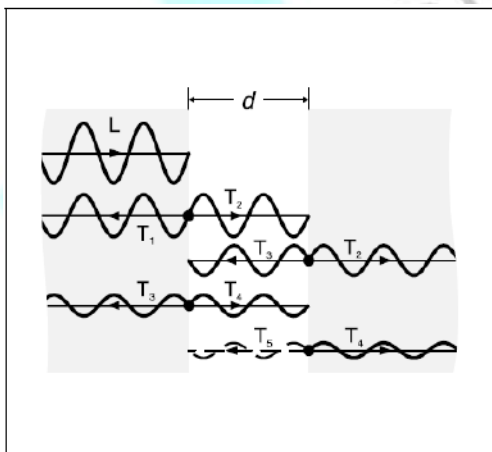
$$d = (n-1) \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

باشد. هنگامی که دو صفحه شیشه‌ای در تماس با یکدیگر باشند، یعنی برای $d = 0$ ، تداخل سازنده همیشه در جهت انتشار، باصرفنظر از طول موج نور فرودی رخ می‌دهد. در بازتاب، اغلب به دلیل جابه‌جایی فازی T_3 در این حالت خاموشی را مشاهده می‌کنید. در فاصله متناهی، تداخل به ضخامت «گوه هوا»، d ، و طول موج نور، λ ، وابسته است. برای گوه هوا محدود شده به وسیله عدسی محدب و برای نور عبوری وضعیت به قرار زیر است:

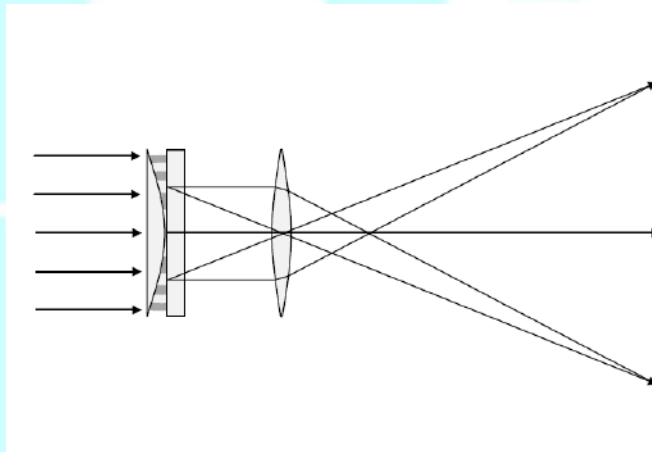
ضخامت d وابسته به فاصله r از نقطه اتصال بین عدسی محدب و صفحه شیشه‌ای و شعاع انحنای عدسی محدب، R ، است. شکل (۲) رابطه

$$R^2 = r^2 + (R-d)^2 \quad (4)$$

را نشان می‌دهد.



ب



الف

شکل (۱): الف- طرح کلی تابش نور موازی به صفحات شیشه‌ای حلقه‌های نیوتن، ب- نمایش طرحواره تداخل از «گوه هوا»

که از آن رابطه زیر برای ضخامت‌های کوچک d استخراج می‌شود.

$$d = \frac{r^2}{2R} \quad (5)$$

حلقه‌های تداخل سازنده، یعنی حلقه‌های نیوتن روشن، می‌توانند از رابطه زیر محاسبه شوند:

$$r_n^2 = (n-1)R\lambda, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

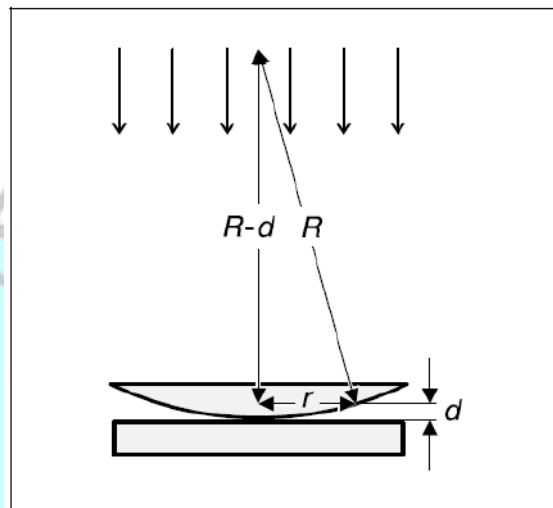
از آنجایی که عدسی تخت-محدب اندکی در نقطه تماس به دلیل فشار تماس فشرده شده‌است، باید رابطه (5) طبق آن اصلاح شود. یک تقریب بهتر از رابطه واقعی به قرار زیر است:

$$d = \frac{r^2}{2R} - d_0 \quad \text{برای} \quad r \geq \sqrt{2Rd_0} \quad (7)$$

برای شعاع r_n حلقه‌های تداخلی روشن رابطه

$$r_n^2 = (n-1)R\lambda + 2Rd_0, \quad n = 2, 3, \dots \quad (8)$$

به کار می‌رود.



شکل (۲): نمایش طرحواره «گوه هوا» بین صفحه شیشه‌ای و عدسی تخت-محدب

نحوه انجام آزمایش:

توجه کنید که بهتر است تاجایی که ممکن است اندازه‌گیری‌ها در داخل اتاق نسبتاً تاریک انجام شود.

❖ صفحات برای حلقه‌های نیوتن

۱- صفحات حلقه‌های نیوتن را جلوی پس‌زمینه روشن قرار داده و آن را در نور بازتابی مشاهده کنید. در ابتدا سه پیچ قپه‌ای را کاملاً شل کنید.

۲- به‌دقت پیچ‌های قپه‌دار را سفت کنید تا زمانی که

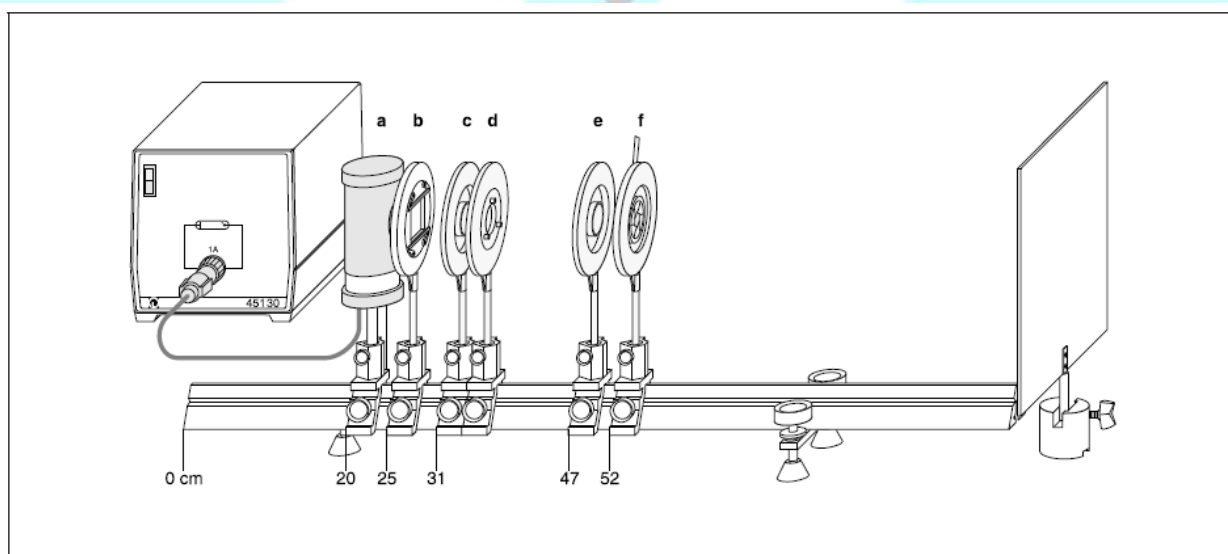
الف- صفحات شیشه‌ای با یکدیگر در تماس باشند (یعنی هیچ حلقه تداخلی از مرکز خارج نمی‌شود و داخلی‌ترین حلقه تداخلی تاریک باشد).

ب- سیستم حلقه به‌دقت در میانه مقیاس باشد (سیستم حلقه همیشه به سمت پیچ قپه‌داری که در حال سفت شدن است، حرکت می‌کند).

توجه کنید که افزایش فشار تماس صفحات را دچار تغییر شکل خواهد کرد.

❖ تنظیم میز اپتیکی

شکل (۳) چیدمان آزمایش را نشان می‌دهد.



(a) لامپ طیفی سدیم (یا جیوه)، (b) نگهدارنده شیء، (c) عدسی $f=+100\text{ mm}$ ، (d) صفحات حلقه‌های نیوتن، (e) عدسی $f=+100\text{ mm}$ دیافراگم.

شکل (۳) چیدمان آزمایش روی میز اپتیکی با ویژگی‌های موقعیت‌دهی از لبه چپ هر واگن اپتیکی بر حسب سانتی‌متر

۱- المان‌های اپتیکی را روی میز اپتیکی قرار دهید، ویژگی‌های موقعیت‌دهی را برای لبه چپ واگن‌های اپتیکی مشاهده کنید.

۲- پرده نیمه‌شفاف را در انتهای ریل قرار دهید.

۳- نگهدارنده صفحات نیوتنی (d) را به‌گونه‌ای قرار دهید که پیچ‌های تنظیم به سمت پرده نیمه‌شفاف باشد. واگن اپتیکی را تا جایی که ممکن است به عدسی (c) نزدیک کنید.

۴- لامپ طیفی سدیم (Na) را در جای خود قرار دهید. لامپ را به منبع متصل و روشن کنید. پس از گذشت چند دقیقه زمان گرم شدن، واگن را حرکت دهید تا حلقه‌های نیوتن روشن‌سازی بهینه را داشته باشند.

۵- موقعیت عدسی (f) یا پرده نمایش را تغییر دهید تا تصویری واضح از حلقه‌های نیوتن ظاهر شده و به‌وضوح مقیاس قابل تشخیص باشد.

توجه کنید هنگامی که صفحات حلقه‌های نیوتن را تنظیم کردید، دیگر تغییری در چیدمان نباید داده شود. به‌خصوص از تماس با پیچ‌های تنظیم خودداری کنید.

الف- اندازه‌گیری با لامپ طیفی سدیم.

۱- تباین تاریک روشن حلقه‌های نیوتن را با استفاده از دیافراگم (f) بهینه کنید.

۲- مرکز حلقه‌های روشن نیوتنی در سمت چپ، r_L ، و مرکز حلقه‌های روشن نیوتنی در سمت راست، r_R ، را ثبت و اندازه‌گیری کنید.

۳- با اندازه‌گیری مقیاسی برابر ۱ میلی‌متر روی پرده نمایش، بزرگنمایی تصویر را به‌دست آورید.

۴- با توجه به اعداد ثبت‌شده r_L و r_R و بر اساس بزرگنمایی تصویر، جدول (۱) را تکمیل کنید.

۵- نمودار r_{mean} بر حسب $n-1$ را رسم کرده و با توجه به نمودار R و d_0 محاسبه کنید.

طول موج نور زرد سدیم را ۵۸۹ نانومتر در نظر بگیرید.

جدول (۱): شعاع حلقه‌های نیوتنی سمت راست و چپ ناشی از نور زرد سدیم

مرتبه	$r_L (mm)$	$r_R (mm)$	$r_{mean} (mm)$	$r_{mean}^2 (mm^2)$
۱				
۲				
۳				
۴				
۵				
۶				
۷				

ب- اندازه‌گیری به وسیله لامپ طیفی جیوه.

احتیاط: اجازه بدهید که لامپ‌های طیفی خنک شوند و سپس آن‌ها را جابه‌جا کنید و یا آن‌ها را به وسیله یک پارچه ضخیم مناسب جابه‌جا کنید.

۱- لامپ طیفی جیوه را جایگزین لامپ طیفی سدیم کنید.

۲- لامپ را به منبع متصل کرده و روشن کنید، اجازه دهید تا گرم شود.

۳- حلقه‌های نیوتن با فرینج‌های رنگی را مشاهده کنید.

۴- فیلتر زرد را در نگهدارنده شیء قرار دهید. تباین روشن-تاریک حلقه‌های نیوتن را با استفاده از دیافراگم (f) بهینه کنید.

۵- مرکز حلقه‌های روشن نیوتنی در سمت چپ، r_L ، و مرکز حلقه‌های روشن نیوتنی در سمت راست، r_R ، را ثبت و اندازه‌گیری کنید.

۶- اندازه‌گیری‌ها را برای فیلترهای رنگی آبی و سبز تکرار کنید.

۷- با توجه به بزرگنمایی جدول (۲) را تکمیل کنید.

۸- نمودار r_{mean} بر حسب $n-1$ را برای سه فیلتر رنگی رسم کنید.

۹- با توجه مقادیر حاصل از جدول (۱) طول موج نورهای تابشی را محاسبه کنید. جدول (۳) را تکمیل کنید.

جدول (۲): شعاع حلقه‌های نیوتنی سمت راست و چپ برای حلقه‌های نیوتنی حاصل از نور طیفی زرد، سبز و آبی

مرتبه	زرد			سبز			آبی		
	r_L (mm)	r_R (mm)	r_{mean} (mm)	r_L (mm)	r_R (mm)	r_{mean} (mm)	r_L (mm)	r_R (mm)	r_{mean} (mm)
۱									
۲									
۳									
۴									
۵									
۶									
۷									
۸									
۹									
۱۰									

جدول (۳): شیب a حاصل از نمودارهای جدول (۲)

رنگ	a (mm ²)	λ (nm)
آبی		
سبز		
زرد		

خواسته‌های آزمایش

۱- چرا تداخل حاصل از چیدمان سطح تخت- عدسی تخت-محدب به صورت حلقه‌های دایره‌ای است؟ (با رسم شکل و بیان روابط ثابت کنید)

۲- چرا در سیستم فرینج‌های تداخلی عبوری، نوار مرکزی تاریک است؟

۳- خطای دیفرانسیلی مرتبط با شعاع انحنای عدسی محدب- تخت را محاسبه کنید.

دکتر فاطمه دبایع کاشانی

دانشگاه علم و صنعت ایران