



دانشگاه اصفهان

دانشکده فیزیک

دستور کار آزمایشگاه

فیزیک ۳

(گرما، موج و نور)

پائیز ۱۴۰۲

بسم الله الرحمن الرحيم

آزمایش و آزمایشگاه نقش مهمی در امور آموزشی و پژوهشی دارند. متن حاضر برای درس آزمایشگاه فیزیک ۳ دانشجویان رشته‌ی فیزیک تهیه شده است. هدف اصلی این دستور کار بررسی مستقیم و تجربی برخی از قانون‌های نظری است که در درس فیزیک ۳ رشته‌ی فیزیک مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. این اقدام به منظور درک همه جانبه و عمیق‌تری از مفاهیم نظری است.

در این دستور کار سعی شده که روش انجام آزمایش‌ها به صورت گام به گام بیان شوند ولی درباره‌ی چگونگی خطاگیری و رسم نمودار کمتر اشاره شده است. جهت یادآوری بخش خلاصه‌ی مربوط به چگونگی خطاگیری از دستور کار آزمایشگاه فیزیک ۲ در ابتدای این دستور کار آورده شده است. لازم است که دانشجویان به نکته‌های کلی مربوط به چگونگی انجام آزمایش، نوشتن گزارش کار و خطاگیری، که به صورت کامل در جزوه خطاگیری که همراه با آزمایشگاه فیزیک ۱ به دانشجویان داده می‌شود، به خوبی مسلط باشند.

لطفاً نظر، پیشنهاد و ایرادهای احتمالی دستور کار را به اینجانب، مسئول آزمایشگاه یا استاد درس خود منتقل نمایید.

دکتر امین الله واعظ

دانشکده فیزیک دانشگاه اصفهان

فهرست

فشرده ایی درباره خطاگیری ۴

بخش اول: گرما

آزمایش	صفحه
۱: گرماسنجی	۱۰
۲: تعیین معادل مکانیکی گرما به روش الکتریکی (ثابت ژول)	۱۶
۳: رسانش گرمایی فلزها	۲۰
۴: الف) انبساط طولی جامدها	۲۴
ب) قانون بویل – ماریوت	۲۷

بخش دوم: موج و نور

۵: اندازه گیری سرعت صوت در هوا به کمک لوله ی صوتی	۳۱
۶: سیم مرتعش	۳۵
۷: میکروسکوپ نوری	۴۱
۸: بیناب نما	۴۶
۹: نور هندسی	۵۰
۱۰: عدسی های محدب (همگرا) و مقعر (واگرا)	۵۶
۱۱: آینه های محدب و مقعر	۶۲

فشرده‌ای درباره خطاگیری

هنگامی که در آزمایشگاه کمیتی را اندازه می‌گیریم، باید دقت آن را نیز مشخص کنیم. یعنی مشخص کنیم که کمیت اندازه‌گیری شده ممکن است تا چه اندازه با مقدار واقعی اختلاف داشته باشد. بسته به روش انجام آزمایش و تعیین کمیت مورد نظر، دقت اندازه‌گیری نیز به روش‌های متفاوتی به دست می‌آید.

برای بحث کامل‌تر درباره سرچشمه‌ی خطاها، انواع خطاها و محاسبه‌ی سهم هر یک در دقت اندازه‌گیری به بخش خطاگیری در دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ یا هر جزوه یا کتابی که درباره‌ی خطاگیری نوشته شده باشد، مراجعه کنید. در این جا، به طور فشرده روش‌های خطاگیری را بیان می‌کنیم.

فرض کنید کمیت مجهول مورد نظر x است. این کمیت را می‌توان به یکی از روش‌های زیر به دست آورد:

اندازه‌گیری مستقیم، استفاده از روابط ریاضی و به کمک رسم خط.

الف) اندازه‌گیری مستقیم

اگر بتوان x را مستقیماً اندازه گرفت، این اندازه‌گیری را n بار (مثلاً ۱۰ بار) انجام می‌دهیم. اگر نتیجه‌ی i امین اندازه‌گیری را با x_i نمایش دهیم و تمام اندازه‌گیری‌ها در شرایط (نسبتاً) یکسان انجام شده باشند،

$$\langle x \rangle = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{var } x = \sigma^2 = \langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2 \quad (1)$$

که میانگین و پراش (واریانس) x خوانده می‌شوند و به ترتیب مقادیری برای محتمل‌ترین مقدار x و گستره‌ی پراکندگی x_i ‌ها حول آن را به دست می‌دهند (از علامت $\langle \dots \rangle$ برای میانگین‌گیری استفاده شده است). σ انحراف استاندارد خوانده می‌شود. برای n ‌های به قدر کافی بزرگ، حدود ۷۰٪ اندازه‌گیری‌ها در بازه‌ی $\pm \sigma$ حول $\bar{x}$ قرار خواهند داشت و می‌توان نوشت:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x \quad (2)$$

که در آن $\Delta x = \sigma$ (اگر بخواهیم که بیش از ۹۵٪ اندازه‌گیری‌ها در گستره‌ی دقت اندازه‌گیری قرار گیرند کافی است که قرار دهیم $\Delta x = 2\sigma$). این روش به نام روش آماری خوانده می‌شود. بدیهی است با بزرگ شدن n ، دقت اندازه‌گیری نیز بهبود می‌یابد. برای n ‌های کوچک، بنا بر ملاحظات آماری بهتر است پراش چنین محاسبه شود:

$$\text{var } x \approx \frac{1}{n-1} \left\{ \sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right\} = \frac{n}{n-1} (\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2) \quad (3)$$

دیده می‌شود برای n ‌های بزرگ $n-1 \approx n$ و این رابطه به رابطه‌ی ۱ تبدیل خواهد شد. در ماشین حساب‌های پیشرفته، حالتی به نام SD (مخفف Standard Deviation) وجود دارد که به کمک آن می‌توان میانگین و پراش را محاسبه کرد. معمولاً انحراف استاندارد طبق رابطه‌ی ۱ با σ_n و طبق رابطه‌ی ۳ با σ_{n-1} نمایش داده می‌شود.

ب) استفاده از روابط ریاضی

اگر x به طور غیرمستقیم و به کمک رابطه‌ای به دست آید که اجزای دیگر آن رابطه قابل اندازه‌گیری‌اند، آن‌گاه:

۱- اگر آزمایش را فقط یک بار انجام دهیم: با توجه به دقت اندازه‌گیری کمیت‌های اندازه‌گیری شده، دقت x

به دست آمده را به روش دیفرانسیل یا دیفرانسیل لگاریتمی محاسبه می‌کنیم. اگر کمیت‌های اندازه‌گیری شده را a, b, c و ... و دقت اندازه‌گیری آن‌ها را $\Delta a, \Delta b, \Delta c$ و ... بنامیم، آن‌گاه:

I. اگر x توسط روابط جمع و تفریق به a, b, c و ... مرتبط گردد، برای محاسبه Δx از رابطه‌ی مورد نظر دیفرانسیل می‌گیریم:

$$x = a + b - 2c \dots \Rightarrow dx = da + db - 2dc \dots \Rightarrow \Delta x = \Delta a + \Delta b + 2\Delta c \dots$$

که در گام آخر علامت منفی را به مثبت تبدیل کرده‌ایم زیرا وجود یک خطا معمولاً باعث کاهش خطای دیگری نمی‌شود و خطاها را باید با هم جمع کرد.

مثال ۱: به کمک ترازویی با دقت ± 1 گرم، جرم ظرفی را اندازه می‌گیریم ($m_1 = 200\text{gr}$). درون ظرف مقداری آب ریخته، دوباره جرم جدید را اندازه می‌گیریم ($m_2 = 254\text{gr}$). جرم آب افزوده شده و دقت آن برابر است با:

$$m = m_2 - m_1 = 245 - 250 = 54\text{gr} \text{ و } \Delta m = \Delta m_2 + \Delta m_1 = 1 + 1 = 2\text{gr}$$

II. اگر x توسط روابط ضرب و تقسیم به a, b, c و ... مرتبط گردد، برای محاسبه Δx از رابطه‌ی مورد نظر ابتدا لگاریتم و سپس دیفرانسیل می‌گیریم (گرفتن لگاریتم ضروری نیست و برای ساده‌سازی انجام می‌شود).

مثال ۲:

$$x = \frac{ab^3}{\sqrt{c}} \Rightarrow \ln x = \ln a + 3\ln b - \frac{1}{2}\ln c$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} + 3\frac{\Delta b}{b} - \frac{1}{2}\frac{\Delta c}{c} \Rightarrow \text{خطای نسبی} \frac{\Delta x}{|x|} = \frac{\Delta a}{|a|} + 3\frac{\Delta b}{|b|} + \frac{1}{2}\frac{\Delta c}{|c|}$$

کمیت $\frac{\Delta x}{|x|}$ دقت نسبی (خطای نسبی!) خوانده می‌شود و معیار خوب بودن اندازه‌گیری است. در این آزمایشگاه دقت نسبی باید از مرتبه‌ی حدود ۵٪ یا کمتر باشد.

۲- اگر آزمایش را چند بار انجام دهیم: ابتدا به روش آماری میانگین و پراش را محاسبه می‌کنیم ($\bar{x}$ و Δx)

قسمت الف)، آن‌گاه به روش قسمت ب-۱ برای هر اندازه‌گیری Δx_i را محاسبه کرده و از آن‌ها میانگین می‌گیریم ($\overline{\Delta x}$). خطای مطلق بیشینه، بزرگ‌ترین مقدار Δx و $\overline{\Delta x}$ است.

ج) رسم خط

اگر برای اندازه‌گیری x تنها دو کمیت را اندازه بگیریم و بتوانیم به گونه‌ای معادله‌ی مورد نظر را به شکل

$$Y = a + bX \quad (۴)$$

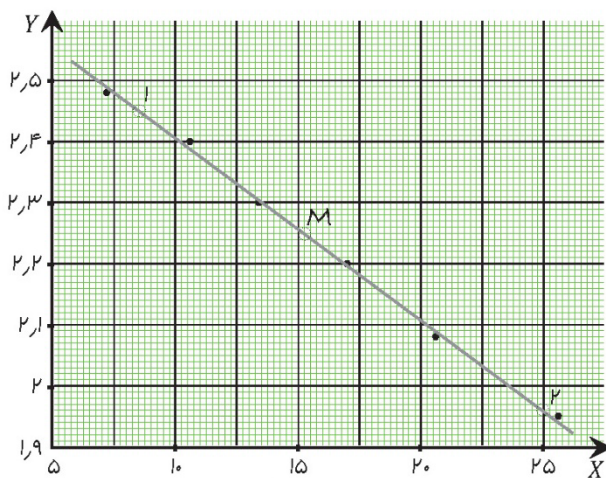
درآوریم (که در آن Y تابعی از یکی از آن دو کمیت و X تابعی از کمیت دیگر است)، آن‌گاه مجهول x با شیب آن خط، b ، یا با عرض از مبدأ آن، a یا با ترکیبی از آن دو ارتباط خواهد داشت. پس با رسم نمودار Y بر حسب X

می‌توان x را به دست آورد (دقت کنید x را با X اشتباه نکنید). هر چه تعداد اندازه‌گیری بیش‌تر باشد، رسم خط جواب بهتری می‌دهد. یک معادله را ممکن است بتوان به شکل‌های مختلف خطی کرد؛ بنابراین اگر سرچشمه‌های خطا را بشناسیم، می‌توانیم معادله را به گونه‌ای خطی کنیم که اثر بعضی از خطاهای سیستماتیک را کاهش (یا حذف) کنیم. در جدول ۱ چند مثال از خطی سازی آورده شده است.

نام آزمایش	رابطه	کمیت قابل اندازه‌گیری	مجهول	رابطه‌ی خطی شده $Y = a + bX$	نتیجه
آونگ ساده	$T = 2\pi \sqrt{\frac{L + \epsilon}{g}}$	L و T (ϵ خطا)	g	$L = -\epsilon + \frac{g}{4\pi^2} T^2$	$4\pi^2 = g$ برابر شیب خط
باتری	$\mathcal{E} = (R + r)I$	R و I	$\mathcal{E}$ و r	$R = -r + \frac{\mathcal{E}}{I}$	$\mathcal{E}$ = شیب خط r = منفی عرض از مبدأ خط
مقاومت لامپ	$I = kV^n$	i و V	n و k	$\ln i = \ln k + n \ln V$	n = شیب خط $\ln k$ = عرض از مبدأ خط
عدسی‌ها	$\frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$	i و o	f	$\frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$	f = عکس عرض از مبدأ خط
خازن	$V = \mathcal{E}e^{-t/RC}$	V و t (R معلوم)	C	$\ln V = \ln \mathcal{E} - \frac{t}{RC}$	$-\frac{1}{R} = C$ برابر عکس شیب خط

جدول ۱

چگونگی رسم خط



شکل ۱

ابتدا دامنه‌ی تغییرات X و Y را به دست آورده، با انتخاب مبدأ و مقیاس مناسب اطلاعات را به شکل نقطه‌گذاری به یک کاغذ میلی‌متری منتقل نموده و سپس بهترین خط را رسم می‌کنیم. بهترین خط، خطی است که در مجموع کم‌ترین (مربع) فاصله را تا نقاط داشته باشد و در ضمن نقاط تقریباً به طور یکسان حول آن توزیع شده باشند. بدیهی است این خط ممکن است از هیچ یک از نقاط نگذرد.

مثال ۳: نمودار شکل ۱ به کمک داده‌های جدول ۲ رسم شده است (به انتخاب مناسب مبدأ و مقیاس دقت کنید). این اعداد، مثال نوعی از بستگی ولتاژ دو سر خازن در حال خالی شدن، V_C ، به زمان t است. این دو طبق رابطه‌ی $V_C = \mathcal{E}e^{-t/RC}$ به یکدیگر مربوط می‌شوند. در این جا $X \equiv t$ و $Y \equiv \ln V_C$ اختیار شده‌اند (ر. ک. جدول ۱).

$X(s)$	۷ر۲	۱۰ر۶	۱۳ر۴	۱۷ر۰	۲۰ر۶	۲۵ر۴
Y	۲ر۴۸	۲ر۴۰	۲ر۳۰	۲ر۲۰	۲ر۰۸	۱ر۹۵

جدول ۲

اندازه‌گیری شیب خط

برای اندازه‌گیری شیب خط رسم شده، دو نقطه‌ی واقع بر روی خط (که در شکل ۱ با نقاط «۱» و «۲» مشخص شده‌اند) و در محدوده‌ای که آزمایش را انجام داده‌ایم به گونه‌ای انتخاب می‌کنیم که تا حد امکان بیش‌ترین فاصله را از یکدیگر داشته باشند. این دو نقطه عموماً هیچ یک از نقاط آزمایش نیستند. با مشخص کردن مختصات آن دو نقطه، شیب خط (که نباید آن را با شیب هندسی اشتباه گرفت) به سادگی به دست می‌آید؛

$$Y = a + bX \Rightarrow \text{شیب} = b = \frac{\delta Y}{\delta X} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \quad (5)$$

و دقت آن به روش دیفرانسیل لگاریتمی به دست می‌آید؛

$$\begin{aligned} \ln|b| &= \ln|Y_2 - Y_1| - \ln|X_2 - X_1| \\ \frac{db}{|b|} &= \frac{d(Y_2 - Y_1)}{|Y_2 - Y_1|} + \frac{d(X_2 - X_1)}{|X_2 - X_1|} \\ \text{خطای نسبی پیشینه} &= \frac{\Delta Y_2 + \Delta Y_1}{|Y_2 - Y_1|} + \frac{\Delta X_2 + \Delta X_1}{|X_2 - X_1|} \quad (6) \end{aligned}$$

که اگر دقت اندازه‌گیری X ها و Y ها ثابت باشند، به صورت زیر در می‌آید:

$$\frac{\Delta b}{b} = 2 \left(\frac{\Delta Y}{|Y_2 - Y_1|} + \frac{\Delta X}{|X_2 - X_1|} \right)$$

که در روابط بالا از علامت δ برای نمو (تغییرات) و از علامت Δ برای نمایش دادن دقت اندازه‌گیری استفاده شده است.

مثال ۴: در آزمایش آونگ ساده (ر. ک. جدول ۱)، محور قائم، طول اندازه‌گیری شده (L) و محور افقی، مجذور زمان تناوب (T^2) می‌باشد و لذا رابطه‌ی ۵ به شکل زیر در می‌آید:

$$g = 4\pi^2 \frac{\delta L}{\delta T^2} \Rightarrow \frac{\Delta g}{g} = 2 \left(\frac{\Delta L}{|L_2 - L_1|} + \frac{2 \Delta T}{|T_2 - T_1|} \right)$$

اندازه‌گیری عرض از مبدأ

ابتدا شیب خط را اندازه می‌گیریم؛ سپس با انتخاب یک نقطه (M) بر روی خط و تقریباً وسط محدوده‌ی آزمایش (طبق شکل ۱)، مختصات آن نقطه را تعیین و به کمک آن عرض از مبدأ خط را به دست می‌آوریم.

$$Y = a + bX \quad (M \text{ جمله از خط از جملہ}) \Rightarrow a = Y_M - bX_M \quad (7)$$

که در آن X_M و Y_M مختصات نقطه‌ی M است.

دقت اندازه‌گیری عرض از مبدأ چنین به دست می‌آید:

$$\Delta a = \Delta Y_M + |b| \Delta X_M + |X_M| \Delta b \quad (8)$$

بدیهی است اگر شیب خط معلوم باشد (!) رابطه‌ی ۶ به شکل $\Delta a = \Delta Y_M + |b| \Delta X_M$ ساده می‌شود. گاهی ترجیح داده می‌شود که از رابطه‌ی اصلی، کمیت مورد نظر را به صورت تحلیلی به دست آورده، سپس به روش دیفرانسیل لگاریتمی دقت آن را تعیین کنیم. اگر به مقدار عددی برای کمیت‌های مورد اندازه‌گیری نیاز بود، از مختصات نقطه‌ی M استفاده می‌شود.

مثال ۵: در آزمایش باتری داریم (ر. ک. جدول ۱):

$$R = -r + \frac{\mathcal{E}}{I} \Rightarrow$$

$$\mathcal{E} = \frac{\delta R}{\delta \left(\frac{1}{I}\right)} \Rightarrow \frac{\Delta \mathcal{E}}{\mathcal{E}} = \frac{\Delta R_2 + \Delta R_1}{|R_2 - R_1|} + \frac{I_1^2 \Delta I_2 + I_2^2 \Delta I_1}{I_1 I_2 |I_2 - I_1|}$$

$$r = \frac{\mathcal{E}}{I_M} - R_M \Rightarrow \Delta r = \frac{\mathcal{E}}{I_M} \left(\frac{\Delta \mathcal{E}}{\mathcal{E}} + \frac{\Delta I_M}{I_M} \right) + \Delta R_M$$

(اگر $\mathcal{E}$ مستقیماً اندازه‌گیری شود، $\Delta \mathcal{E}$ دقت آن اندازه‌گیری خواهد بود که به وسیله‌ی ولت‌سنج تعیین می‌شود).

استفاده از ماشین حساب در تعیین بهترین خط

اگر مجموعه‌ای از n زوج نقطه (X_i, Y_i) معادله‌ی خطی $y = a + bx$ را به گونه‌ای بیابیم که مجموعه مربع فاصله‌ی نقاط تا خط، یعنی $\xi = \sum_{i=1}^n (Y_i - y_i)^2$ کمینه شود، بهترین خط را در تقریب حداقل مربعات به دست آورده‌ایم. $y_i = a + bX_i$ عرض خط در طول $x = X_i$ است. کمینه بودن ξ نسبت به a و b (یعنی $\frac{\partial \xi}{\partial a} = 0$ و $\frac{\partial \xi}{\partial b} = 0$) به دستگاه معادلات زیر منجر می‌شود:

$$\begin{cases} a + b\langle X \rangle = \langle Y \rangle \\ a\langle X \rangle + b\langle X^2 \rangle = \langle XY \rangle \end{cases}$$

که می‌توان آن را به سادگی حل کرد:

$$b = \frac{\langle XY \rangle - \langle X \rangle \langle Y \rangle}{\langle X^2 \rangle - \langle X \rangle^2} \quad \text{و} \quad a = \langle Y \rangle - b\langle X \rangle \quad (۹)$$

که در آن‌ها مجدداً از علامت $\langle \dots \rangle$ برای میانگین‌گیری استفاده شده است.

ماشین حساب‌های پیشرفته دارای حالتی هستند که قادر است a و b را بر طبق رابطه‌ی ۹ برای n زوج نقطه‌ی (X_i, Y_i) محاسبه کند. این حالت معمولاً با علامت LR (مخفف Linear Regression) مشخص می‌شود. در ماشین حساب‌های CASIO (fx 3600 p, pv) مختصات X_i به دکمه‌ی (x_0, y_0) و مختصات Y_i متناظر، به دکمه‌ی DATA داده می‌شوند. در ماشین حساب‌های CASIO (fx 4500 p) مختصات X_i و Y_i با یک کاما به صورت x_i, y_i به DT داده می‌شوند. دانشجویان مجازند که ضرایب a و b را به کمک رابطه‌ی ۹ و یا با استفاده از ماشین حساب به دست آورند ولی در هر حال رسم خط بر روی کاغذ میلی‌متری ضروری است.

بخش اول:

گرما

آزمایش شماره (۱)

گرماسنجی

هدف:

اندازه‌گیری ارزش آبی (ظرفیت گرمایی) گرماسنج، اندازه‌گیری ظرفیت گرمایی ویژه‌ی جامدها، اندازه‌گیری گرمای نهان ذوب یخ

زمینه‌ی نظری:

الف) اندازه‌گیری ارزش آبی (ظرفیت گرمایی) گرماسنج (A)

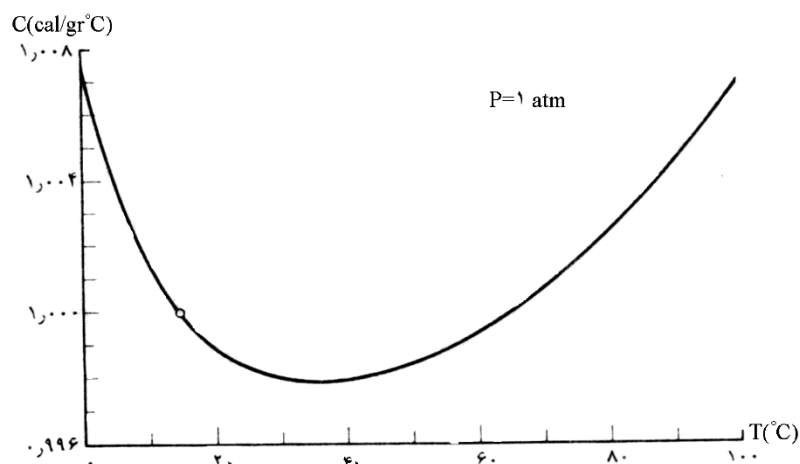
اگر مقدار گرمای لازم برای آنکه جسمی به جرم m گرم از دمای T_1 به دمای T_2 برسد برابر Q باشد، گرمای ویژه‌ی متوسط این جسم در بازه‌ی دمایی T_1 و T_2 چنین تعریف می‌شود:

$$\bar{c} = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)} \quad (1)$$

گرمای ویژه‌ی یک جسم در یک دمای معین به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$c = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \bar{c} = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT} \quad (2)$$

گرمای ویژه‌ی بیش‌تر اجسام با دما تغییر می‌کند، تنها در صورتی که اختلاف دمای ΔT کوچک باشد می‌توان فرض کرد که c در این فاصله ثابت است. مثلاً، تغییرات ظرفیت گرمایی آب با دما در شکل ۱ آمده است. بنا به تعریف، کالری مقدار گرمایی است که اگر به یک گرم آب در دمای $14/5^\circ\text{C}$ سانتی‌گراد و در فشار ۱ اتمسفر داده شود، دمای آن را یک درجه افزایش دهد.



شکل ۱

گرماسنج وسیله‌ای است که می‌توان به کمک آن کمیت‌هایی مانند گرمای ویژه‌ی اجسام را محاسبه کرد. هر گاه چند جسم با دماهای متفاوت را وارد گرماسنج کنیم، بین این اجسام و اجزای گرماسنج مانند ظرف، هم‌زن، دماسنج و ... مبادله‌ی گرما صورت

می گیرد به طوری که پس از مدتی حالت تعادل برقرار می شود. هر قدر اختلاف دما در ابتدا و انتهای آزمایش بیش تر باشد، مقدار گرمای مبادله شده با گرماسنج نیز بیش تر خواهد بود. از آنجا که جمع جبری گرماهای مبادله شده صفر است، این مقدار گرما برابر است با:

$$Q = \sum_i m_i c_i \Delta T = A \Delta T \quad (۳)$$

که در آن، m_i ها، جرم اجسام موجود در گرماسنج و c_i ها، ظرفیت گرمایی ویژه ی مربوط به هر یک و ΔT اختلاف دماست. A را ارزش آبی گرماسنج می نامند که مقدار آن برای هر گرماسنج معین، همواره ثابت و واحد آن کالری بر درجه ی سلسیوس است. تعیین جرم هر یک از اجزای گرماسنج و پیدا کردن ظرفیت گرمایی ویژه ی مربوط به آن خالی از اشکال نیست، از این رو برای تعیین ارزش آبی یک گرماسنج از روشی که توضیح داده خواهد شد استفاده می شود.

ب) اندازه گیری ظرفیت گرمایی ویژه ی جامدات (c)

یکی از روش های اندازه گیری گرمای ویژه ی اجسام جامد، روش اختلاط است که بر پایه ی پایستگی انرژی گرمایی استوار است. در این روش جسم را تا دمای معینی گرم کرده (T_2)، آنگاه آن را وارد گرماسنج می کنند. جسم گرم مقداری از گرمای خود را از دست می دهد تا به دمای تعادل (T) برسد. مقدار این گرما برابر است با:

$$Q = mc_x (T_2 - T) \quad (۴)$$

این مقدار گرما صرف گرم کردن گرماسنج و آب سرد درون آن می شود، به گونه ای که مقدار آن از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$Q' = (Mc_w + A)(T - T_1) \quad (۵)$$

که در آن A ارزش آبی گرماسنج و M جرم آب سرد درون آن است. اگر گرماسنج با محیط اطراف خود گرمایی مبادله نکند، بنابر قانون پایستگی انرژی، $Q' = Q$ و در نتیجه به کمک روابط ۴ و ۵، خواهیم داشت:

$$c_x = \frac{(Mc_w + A)(T - T_1)}{m(T_2 - T)} \quad (۶)$$

پ) اندازه گیری گرمای نهان ذوب یخ (L_f)

مقدار گرمایی که هر گرم از یک جسم به هنگام تغییر حالت فیزیکی می گیرد یا از دست می دهد را گرمای نهان تغییر حالت آن جسم می نامند. تجربه نشان می دهد که در حین تغییر حالت، دمای جسم ثابت باقی می ماند. این دما را دمای تغییر حالت می نامند.

برای اندازه‌گیری گرمای نهان ذوب یخ نیز از روش اختلاط استفاده می‌شود. به این ترتیب که مقدار m گرم یخ صفر درجه را درون گرماسنجی که دارای M گرم آب در دمای ترازمندی T است، می‌ریزند. در این فرآیند، مقدار گرمایی که m گرم یخ می‌گیرد تا به دمای ترازمندی T برسد، برابر است با:

$$Q = mL_f + mc_w T \quad (۷)$$

گرمایی که گرماسنج از دست می‌دهد نیز با رابطه‌ی زیر داده می‌شود:

$$Q' = (Mc_w + A)(T_1 - T) \quad (۸)$$

اگر گرماسنج با محیط پیرامون خود تبادل گرما نداشته باشد (بی‌دررو باشد)، بنابر پایستگی انرژی گرمایی، $Q = Q'$ و خواهیم داشت:

$$L_f = \frac{(Mc_w + A)(T_1 - T)}{m} - c_w T \quad (۹)$$

وسایل مورد نیاز:

گرماسنج، دماسنج، ترازو، گرم‌کن برقی، ظرف جهت جوش آوردن آب، بشر، پایه، گیره، نمونه‌ی فلزی، آب مقطر، یخ تهیه شده از آب مقطر، کاغذ خشک کن

روش انجام آزمایش:

الف) اندازه‌گیری ارزش آبی (ظرفیت گرمایی) گرماسنج (A)

۱. جرم گرماسنج شامل هم‌زن و دماسنج را به وسیله‌ی ترازو به دست آورید (M_0).
۲. مقداری آب را که دمای آن کمی (حدود ۲ درجه‌ی سانتی‌گراد) از دمای آزمایشگاه پایین‌تر باشد، تهیه کنید. حدود یک سوم گرماسنج را از این آب پر کنید. با توزین مجدد گرماسنج و کم کردن جرم گرماسنج (M_0) از آن، جرم آب درون گرماسنج را به آورید (M_1).
۳. مقداری آب درون ظرف مخصوص ریخته و آن را روی گرم‌کن برقی قرار دهید تا به جوش آید.
۴. آب درون گرماسنج را هم زده، دمای آن را یادداشت کنید (T_1).
۵. پس از آنکه آب درون ظرف به جوش آمد، آن را از روی گرم‌کن برداشته و کنار بگذارید. آب درون آن را به آرامی هم بزنید تا آنکه دمای آن حدود ۸۰ درجه‌ی سانتی‌گراد شود (T_2).
۶. کمتر از یک سوم دیگر از گرماسنج را با آب گرم شده پر کنید (بهتر است مقدار آب گرم کمتر از آب سرد اضافه شده در مرحله ۲ باشد). درب گرماسنج را زود ببندید و با هم‌زن، آب درون گرماسنج را به آرامی هم بزنید. خواهید دید که دمای گرماسنج نخست افزایش یافته و تا

دمای بیشینه‌ای بالا می‌رود و سپس کاهش می‌یابد. بیشینه‌ی دما را که همان دمای ترازمندی است، یادداشت کنید (T).

۷. با اندازه‌گیری دوباره جرم گرماسنج، جرم آب افزوده شده به آن را به دست آورید (M_2).

۸. بنابر قانون پایستگی انرژی گرمایی می‌توان نوشت:

$$(M_1 c_w + A)(T - T_1) = M_2 c_w (T_2 - T)$$

و یا:

$$A = \frac{M_2(T_2 - T) - M_1(T - T_1)}{T - T_1} c_w \quad (10)$$

اگر گرمای ویژه‌ی آب برابر با $c_w = 1 \text{ cal / gr}^\circ\text{C}$ با خطای نسبی یک درصد باشد، از رابطه‌ی بالا A و خطای آن را حساب کنید.

۹. مرحله‌های ۱ تا ۸ را تکرار کنید و نتایج را در جدول ۱ یادداشت کنید.

تکرار آزمایش	جرم آب سرد $M_1(\text{gr})$	جرم آب گرم $M_2(\text{gr})$	دمای آب سرد $T_1(^{\circ}\text{C})$	دمای آب گرم $T_2(^{\circ}\text{C})$	دمای ترازمندی $T(^{\circ}\text{C})$	ارزش آبی $A(\text{cal/}^{\circ}\text{C})$	$\Delta A(\text{cal/}^{\circ}\text{C})$
۱							
۲							

جدول ۱

۱۰. از روی جدول ۱، میانگین A را به دست آورید و خطای مطلق و نسبی آن را حساب کنید.

$$\bar{A} = \dots\dots (\text{cal / }^{\circ}\text{C}), \quad \Delta \bar{A} = \dots\dots (\text{cal / }^{\circ}\text{C}), \quad \frac{\Delta \bar{A}}{\bar{A}} = \dots\dots \%$$

(ب) اندازه‌گیری ظرفیت گرمایی ویژه‌ی جامدات (C)

۱. جرم گرماسنج شامل هم‌زن و دماسنج را به کمک ترازو به دست آورید (M_0).

۲. مقداری آب را که دمای آن کمی (حدود ۲ درجه‌ی سانتی‌گراد) پایین‌تر از دمای آزمایشگاه است تهیه کنید. حدود یک سوم گرماسنج را از این آب پر کنید. با توزین مجدد گرماسنج و کم کردن جرم گرماسنج (M_0) از آن، جرم آب درون گرماسنج را به دست آورید (M).

۳. جرم نمونه‌ی فلزی مورد آزمایش را با ترازو به دست آورید (m).

۴. مقداری آب در ظرف مخصوص ریخته و روی گرم‌کن برقی به جوش آورید. نمونه فلزی، که می‌خواهید ظرفیت گرمایی ویژه‌ی آن را به دست آورید، به کمک یک نخ از پایه‌ای آویزان کرده و درون ظرف آب در حال جوشیدن به گونه‌ای قرار دهید که نمونه با دیواره‌ی ظرف تماس پیدا نکند. پس از گذشت مدتی (حدود ۵ دقیقه)، دمای جسم همان دمای آب جوش خواهد بود (T_2). این دما را یادداشت کنید.

۵. آب درون گرماسنج را هم زده، دمای آن را یادداشت کنید (T_1). سپس جسم فلزی را از آب جوش بیرون آورده و بی درنگ به درون گرماسنج بیندازید.
۶. درب گرماسنج را زود ببندید و آب درون گرماسنج را با همزن به آرامی هم بزنید. پس از مدتی دمای گرماسنج به یک مقدار بیشینه می‌رسد و بعد از آن شروع به کم شدن می‌نماید. این دمای بیشینه‌ی را که دمای ترازمندی است، یادداشت کنید (T).
۷. نتایج را در جدول ۲ ثبت کرده و به کمک رابطه‌ی ۶، گرمای ویژه‌ی نمونه‌ی فلزی را به دست آورید. گرمای ویژه‌ی آب را برابر با $c_w = 1.00 \text{ cal/gr}^\circ\text{C}$ با خطای نسبی یک درصد در نظر بگیرید.

جرم نمونه $m(\text{gr})$	جرم آب سرد $M(\text{gr})$	دمای گرماسنج $T_1 (^\circ\text{C})$	دمای آب جوش $T_2 (^\circ\text{C})$	دمای ترازمندی $T (^\circ\text{C})$	گرمای ویژه $c_x (\text{cal/gr}^\circ\text{C})$	$\Delta c_x (\text{cal/gr}^\circ\text{C})$	$\frac{\Delta c_x}{c_x} \%$

جدول ۲

۹. با توجه به روش محاسبه‌ی خطا، از رابطه‌ی c_x دیفرانسیل لگاریتم بگیرید و مقدار خطای مطلق و نسبی مربوط به آن را حساب کنید.
۱۰. جنس نمونه فلزی را از مسئول آزمایشگاه بپرسید و مقدار گرمای ویژه به دست آمده در مرحله ۷ را با مقدارهای گرمای ویژه‌ی گزارش شده‌ی آن فلز توسط دیگران (اینترنت، کتاب درسی و ...) مقایسه نمایید.

پ) اندازه‌گیری گرمای نهان ذوب یخ (L_f):

- ابتدا جرم گرماسنج، شامل همزن و دماسنج، را به کمک ترازو به دست آورید (M_0).
- مقداری آب را که دمای آن کمی بالاتر از دمای آزمایشگاه است، درون گرماسنج بریزید. با توزین مجدد گرماسنج و کم کردن جرم گرماسنج (M_0) از آن، جرم آب درون گرماسنج را به دست آورید (M).
- مقداری یخ را که ذرات خارجی یا حباب نداشته باشد در ظرف آبی بریزید تا یخ صفر درجه به دست آورید.
- آب درون گرماسنج را با همزن، هم بزنید و دمای آن را یادداشت کنید (T_1). سپس مقدار مناسبی از یخ‌ها را با کاغذ خشک‌کن خشک کنید و آن را درون گرماسنج بیندازید.

۵. درب گرماسنج را ببندید و با همزن آب درون گرماسنج را هم بزنید. دما را پی در پی یادداشت کنید. خواهید دید که دما به آرامی پایین می‌آید و برای مدتی کوتاه در کمینه‌ای می‌ایستد و پس از آن، شروع به افزایش می‌کند.

۶. دمای کمینه را که همان دمای تعادل است، یادداشت کنید (T).

۷. دوباره با ترازو جرم گرماسنج را حساب کنید تا جرم یخ افزوده شده به آن، به دست آید (m).

۸. مقادیر به دست آمده را در جدول ۳ یادداشت کرده و به کمک رابطه‌ی ۳، L_f و خطای آن را حساب کنید. گرمای ویژه‌ی آب را برابر با $c_w = 1.00 \text{ cal / gr}^\circ\text{C}$ با خطای نسبی یک درصد در نظر بگیرید.

جرم آب سرد $M(\text{gr})$	جرم یخ $m(\text{gr})$	دمای گرماسنج $T_1 (^\circ\text{C})$	دمای ترازمندی $T (^\circ\text{C})$	گرمای نهان ذوب $L_f (\text{cal / gr})$	$\Delta L_f (\text{cal / gr})$	$\frac{\Delta L_f}{L_f} \%$

جدول ۳

۹. مقدار L_f به دست آمده برای یخ در مرحله ۸ را با مقدارهای L_f گزارش شده‌ی یخ توسط دیگران (اینترنت، کتاب درسی و ...) مقایسه نمایید.

به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

- ۱- چرا ظرفیت گرمایی گرماسنج را ارزش آبی آن می‌گویند؟
- ۲- چرا هنگام تغییر حالت اجسام دمای آنها تغییر نمی‌کند در حالی که اجسام برای تغییر حالت نیازمند گرما هستند؟
- ۳- چرا کتری آب جوش به فرش زیر آن نمی‌چسبد در حالی که کتری داغ بدون آب باعث سوختن آن می‌شود؟
- ۴- گرمای نهان ذوب و تبخیر، و ظرفیت گرمایی ویژه آب نسبت به موادی که در طبیعت به فراوانی یافت می‌شوند، خیلی بزرگ است. توضیح دهید تأثیر و نتیجه بالا بودن این کمیت‌ها در طبیعت و زندگی روزمره ما چیست؟
- ۵- چگونه می‌توان گرمای نهان ذوب یک فلز مانند سرب را اندازه گرفت؟ دمای ذوب سرب چند است؟
- ۶- عوامل ابیراهی موجود در سه آزمایش را شرح دهید. برای کاستن از اثر هر یک در نتایج آزمایش چه راهی پیشنهاد می‌کنید؟

آزمایش شماره (۲)

تعیین معادل مکانیکی گرما به روش الکتریکی (ثابت ژول)

هدف:

تعیین ثابت ژول یا معادل مکانیکی گرما (J) به روش الکتریکی

زمینه‌ی نظری:

کالری مقدار گرمایی است که اگر به یک گرم آب در دمای $14/5$ درجه‌ی سانتی‌گراد و فشار ۱ اتمسفر داده شود، دمای آن را یک درجه افزایش دهد. کنت رومفورد نشان داد که گرما نوعی انرژی است. سال‌ها پس از آن، ژول با ترتیب دادن یک آزمایش بسیار ساده ولی مهم نشان داد تمام صورت‌های انرژی به یکدیگر قابل تبدیل هستند، از این رو خواهیم داشت:

$$JQ_{(cal)} = W_{(joul)} \quad (۱)$$

یا

$$۱ (cal) = J (joul)$$

J معادل مکانیکی گرما نامیده می‌شود. هر گاه دو سرب یک مقاومت الکتریکی که درون یک گرماسنج حاوی آب قرار دارد، اختلاف پتانسیل $\mathcal{E}$ برقرار شود و از آن جریان I بگذرد، انرژی الکتریکی مصرف شده در مقاومت که به صورت گرما ظاهر می‌شود، برابر است با:

$$W = \int_0^t \mathcal{E} I dt = \int_0^t P dt = \bar{P} t \quad (۲)$$

که در آن $\bar{P}$ توان متوسط الکتریکی مقاومت و t زمانی است که جریان از آن گذشته است. گرمای تولید شده، گرماسنج و آب درون آن را گرم می‌کند. اگر فرض کنیم که هیچ گونه اتلاف گرمایی نداشته باشیم، دمای گرماسنج از T_0 به T افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که داریم:

$$Q = (Mc_w + A)(T - T_0) \quad (۳)$$

و در نتیجه:

$$J = \frac{\bar{P} t}{(Mc_w + A)(T - T_0)} \quad (۴)$$

که M جرم آب درون گرماسنج و A ارزش آبی آن است.

وسایل مورد نیاز:

گرماسنج با سیم گرم کن، دماسنج با دقت بالا، زمان سنج، آب مقطر، منبع تغذیه ی مستقیم، آمپرسنج، ولت سنج، سیم های رابط، ظرف مخصوص تهیه ی آب جوش، گرم کن برقی، بشر

روش انجام آزمایش:

۱. جرم گرماسنج شامل همزن و دماسنج را به وسیله ی ترازو به دست آورید (M_0).
۲. مقداری آب را که دمای آن کمی (حدود ۲ درجه ی سانتی گراد) از دمای آزمایشگاه پایین تر باشد، تهیه کنید. حدود یک سوم گرماسنج را از این آب پر کنید. با توزین مجدد گرماسنج و کم کردن جرم گرماسنج (M_0) از آن، جرم آب درون گرماسنج را به دست آورید (M_1).
۳. مقداری آب درون ظرف مخصوص ریخته و آن را روی گرم کن برقی قرار دهید تا به جوش آید.

۴. آب درون گرماسنج را هم زده، دمای آن را یادداشت کنید (T_1).
۵. پس از آنکه آب درون ظرف به جوش آمد، آن را از روی گرم کن برداشته و کنار بگذارید. آب درون آن را به آرامی هم بزنید تا آنکه دمای آن حدود ۸۰ درجه ی سانتی گراد شود. در این حالت دمای دقیق آب گرم را یادداشت کنید (T_2).

۶. کمتر از یک سوم دیگر از گرماسنج را با آب گرم شده پر کنید. بهتر است مقدار آب گرم کمتر از مقدار آب سرد مرحله ۲ باشد. درب گرماسنج را زود ببندید و با همزن آن، آب درون گرماسنج را به آرامی هم بزنید. خواهید دید که دمای گرماسنج نخست افزایش یافته و تا دمای بیشینه ای بالا می رود. اگر بیش تر درنگ کنید، دمای گرماسنج دوباره پایین خواهد آمد. بیشینه ی دما را که همان دمای ترازمندی است، یادداشت کنید (T).

۷. با توزین مجدد گرماسنج، جرم آب افزوده شده به آن را به دست آورید (M_2).
۸. بنابر قانون پایستگی انرژی گرمایی (رک آزمایش گرماسنجی) می توان نوشت:

$$A = \frac{M_2(T_2 - T) - M_1(T - T_1)}{T - T_1} c_w \quad (5)$$

اگر گرمای ویژه ی آب برابر با $c_w = 1 \text{ cal} / \text{gr}^\circ\text{C}$ باشد، از رابطه ی بالا A را حساب کنید و در جدول ۱ بنویسید.

جرم آب سرد $M_1(\text{gr})$	جرم آب گرم $M_2(\text{gr})$	دمای آب سرد $T_1(^{\circ}\text{C})$	دمای آب گرم $T_2(^{\circ}\text{C})$	دمای ترازمندی $T(^{\circ}\text{C})$	ارزش آبی $A(\text{cal}/^{\circ}\text{C})$	$\Delta A(\text{cal}/^{\circ}\text{C})$	$\frac{\Delta A}{A} \%$

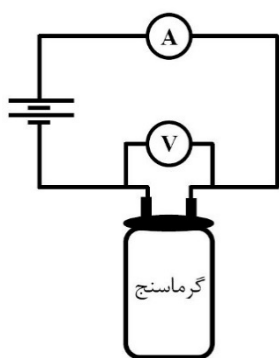
جدول ۱

۱۰. با توجه به روش محاسبه‌ی ابیراهی، از معادله‌ی ۵، دیفرانسیل لگاریتم بگیرید و خطای مطلق و نسبی ارزش آبی را حساب کنید و در جدول ۱ بنویسید. خطای نسبی گرمای ویژه‌ی آب را **یک درصد** در نظر بگیرید.

۱۱. گرماسنج را خالی کرده، سپس آن را تا نیمه پر از آب سرد کنید. با توزین مجدد گرماسنج، جرم آب سرد درون آن را به دست آورید (M).

۱۲. درب گرماسنج را ببندید و با هم‌زن آب درون آن را هم بزنید. پس از آن که دماسنج دمای ثابتی را نشان داد، آن را یادداشت کنید (T_0).

۱۳. مدار شکل ۱ را ببندید. ولتاژ منبع را به گونه‌ای تغییر دهید که ولتاژ گرم کن حدود ۶ ولت



شکل ۱

باشد. کلید را بسته و هم‌زمان، زمان‌سنج را به کار اندازید. در این حالت به کمک ولت‌سنج و آمپرسنج، مقدار دقیق ولتاژ گرم‌کن (ε)، جریان گذرنده از آن (I) و خطای آنها را یادداشت کنید.

۱۵. در طول مدت آزمایش، همزن را به آرامی بالا و پایین ببرید و دمایی را که دماسنج نشان می‌دهد، 1 دقیقه به 1 دقیقه خوانده و در جدول ۲ بنویسید. این کار را آنقدر ادامه دهید که دما حدود ۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش یابد، سپس زمان سنج و کلید را خاموش کنید.

$I = \dots\dots\dots A$ جریان $\mathcal{E} = \dots\dots\dots V$ ولتاژ $M = \dots\dots\dots gr$ جرم آب سرد

[illegible]

جدول ۲

۱۶. چون $\bar{P} = \varepsilon I$ ، از رابطه‌ی ۴ خواهیم داشت:

$$T = \left(\frac{\varepsilon I}{J(Mc_w + A)} \right) t + T_0$$

یعنی نمودار T بر حسب زمان، خط مستقیمی با شیب $\frac{\varepsilon I}{J(Mc_w + A)}$ خواهد بود. با رسم این نمودار و اندازه‌گیری شیب آن، نهایتاً J و خطای مطلق و نسبی آن را محاسبه کنید و در جدول ۳ بنویسید. خطای نسبی گرمای ویژه‌ی آب را یک درصد در نظر بگیرید.

J (Joul/cal)	ΔJ (Joul/cal)	$\frac{\Delta J}{J} \%$

جدول ۳

۱۸. مقدار J را با مقدار دقیق آن $J=4/1868$ (Joul/cal) مقایسه کنید و از این مقایسه، نسبت به روش آزمایش و چگونگی دخالت منابع ابیراهی، در به دست آمدن نتیجه، بحث و نتیجه گیری کنید. در صورتی که روش بهتری برای انجام آزمایش می شناسید، بیان کنید.

به پرسش های زیر پاسخ دهید:

- ۱- عوامل ابیراهی را به ترتیب اهمیت نام ببرید. برای دوری از هر کدام چه راهی پیشنهاد می کنید؟
- ۲- آیا این آزمایش با ولتاژ AC قابل انجام است؟ چرا؟
- ۳- واحد بریتانیایی گرما (BTU) را تعریف کنید. یک BTU معادل چند کالری است ؟ چند واحد دیگر برای گرما و رابطه آنها با کالری را بنویسید.
- ۴- یکای کالری که برای مشخص نمودن انرژی مواد غذایی استفاده می شود چه تفاوتی با یکای کالری که در اینجا تعریف شد، دارد؟

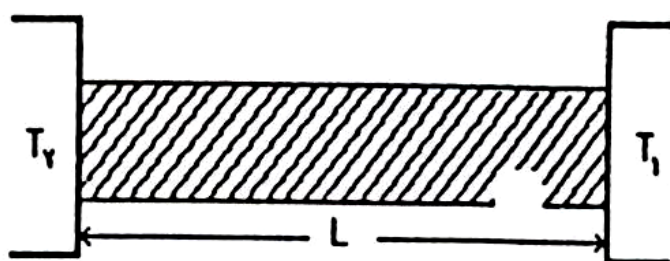
آزمایش شماره (۳)

رسانش گرمایی فلزها

هدف:

مطالعه‌ی رسانش گرمایی مس و اندازه‌گیری ضریب رسانش گرمایی آن (k)

زمینه‌ی نظری:



شکل ۱

یک میله‌ی مسی به طول L و سطح مقطع A را که ابتدا و انتهایش به ترتیب در دماهای ثابت T_1 و T_2 ($T_1 > T_2$) قرار دارد، در نظر بگیرید (شکل ۱).

گرما از یک سر میله که در دمای بالاتری است، در امتداد میله به سمت

انتهای آن با دمای پایین‌تر هدایت می‌شود. اگر فرض کنیم شار گرمای هدایت شده به‌وسیله‌ی میله، H ، در امتداد محور آن باشد، مقدار گرمایی که از هر مقطع میله در واحد زمان می‌گذرد ثابت خواهد بود؛ به‌گونه‌ای که بر اساس نظریه رسانش گرمایی فوری که در سال ۱۸۲۲ بیان شد، خواهیم داشت:

$$H = \frac{dQ}{dt} = kA \frac{(T_1 - T_2)}{L} = kA \frac{\Delta T}{L} \quad (۱)$$

که در آن k ضریب رسانش گرمایی میله و عبارت است از مقدار گرمایی که در واحد زمان از واحد سطح میله‌ای به طول واحد که دو سر آن اختلاف دمای یک درجه سانتیگراد برقرار است، می‌گذرد. یکای k که معمولاً در دستگاه اندازه‌گیری cgs بیان می‌شود، کالری بر ثانیه بر سانتی‌متر بر درجه‌ی سانتی‌گراد $\left(\frac{\text{cal}}{\text{sec.cm.}^\circ\text{C}}\right)$ است.

برای اندازه‌گیری مقدار گرمای رسانشی به‌وسیله‌ی میله، جریان ثابتی از آب سرد و گرم را در دو انتهای میله برقرار می‌کنیم. فرض کنید m گرم آب سرد با دمای T_3 به‌گونه‌ای یکنواخت در مدت زمان t ثانیه به انتهای سرد میله وارد و با دمای T_4 از آن خارج شود. اگر تمام گرمای رسانشی رسیده به انتهای سرد میله، جذب این آب شود داریم:

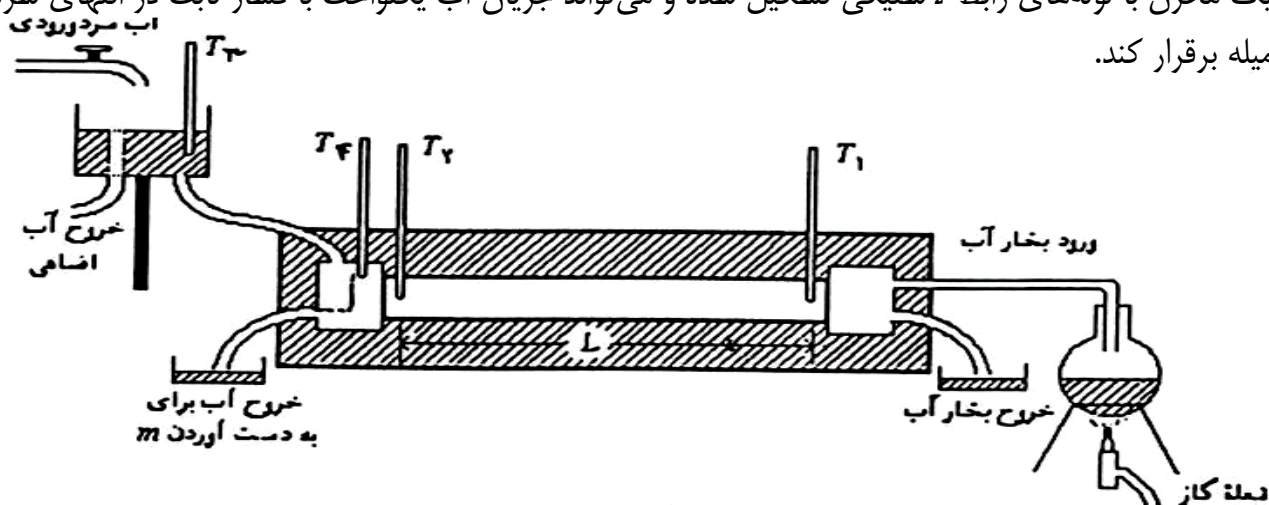
$$H = \frac{mc_w(T_4 - T_3)}{t} \quad (۲)$$

که در آن c_w گرمای ویژه‌ی آب است.

وسایل مورد نیاز:

دماسنج با دقت بالا (ترجیحاً دماسنج دیجیتالی)، زمان‌سنج، خط‌کش مدرج، ظرف مدرج یا ترازو، ظرف تهیه‌ی بخار آب، دستگاه رسانش گرمایی.

معرفی دستگاه رسانش گرمایی: دستگاهی مانند شکل ۲، شامل یک میله‌ی استوانه‌ای فلزی که در یک جعبه‌ی فلزی حاوی مواد عایق قرار دارد. در دو انتهای میله، دو کلاهک برنجی تو خالی قرار دارد که نقش انتقال گرما بین بخار آب و آب سرد در دو سوی میله را بازی می‌کند. روی جعبه، سوراخ‌هایی برای گذاشتن دماسنج ایجاد شده است. یک دستگاه برقراری جریان یکنواخت آب به یک سر میله متصل شده است، که از یک مخزن با لوله‌های رابط لاستیکی تشکیل شده و می‌تواند جریان آب یکنواخت با فشار ثابت در انتهای سرد میله برقرار کند.



شکل ۲

روش انجام آزمایش:

۱. مطابق شکل ۲ از اتصال لوله‌های لاستیکی و قرارگیری دماسنج‌ها در جای خود اطمینان یابید. از تماس دماسنج‌ها با میله‌ی فلزی مطمئن شوید.
۲. مقداری آب در ظرف تولیدکننده‌ی بخار بریزید (حدود سه چهارم حجم ظرف) و گرم‌کن برقی را روشن کنید تا آب به جوش آید.
۳. جریان آب سرد را به‌طور یکنواخت و با سرعت نسبتاً کم در انتهای دیگر میله برقرار کنید (برای این کار از مسئول آزمایشگاه کمک بگیرید).
۴. طول و قطر میله فلزی‌ایی که مانند میله فلزی درون دستگاه است را با استفاده از کولیس اندازه بگیرید و به همراه خطای اندازه‌گیری آنها یادداشت کنید:

$$L = \dots \pm \dots \text{ cm}, \quad D = \dots \pm \dots \text{ cm}$$

سطح مقطع میله فلزی را با رابطه $A = \frac{\pi D^2}{4}$ محاسبه و به همراه خطای آن یادداشت کنید:

$$A = \dots \pm \dots \text{ cm}^2$$

۵. معمولاً بعد از گذشت زمانی بیش از چهل دقیقه دستگاه به رژیم پایدار می‌رسد، به گونه‌ای که در حدود ۵ دقیقه هر چهار دماسنج، دماهای ثابتی را نشان می‌دهند. در این حالت، شرایط برای خواندن دماسنج‌ها مناسب می‌شود. بعد از رسیدن به رژیم پایدار، در مدت ۱۰ دقیقه، هر دو دقیقه یکبار دمای دماسنج‌ها را خوانده و در جدول ۱ یادداشت کنید.

تذکر: دقت کنید که دمای هر دماسنج که در هر ۲ دقیقه می‌خوانید، با دمای آن در ۲ دقیقه قبلی نباید بیش از ۰/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد اختلاف داشته باشد. اگر چنین شد دستگاه به رژیم پایدار نرسیده و باید مدتی دیگر درنگ کنید و خواندن دمای دماسنج‌ها را از سر بگیرید. به هر حال داده‌هایی مورد قبول است که رعایت این نکته شده باشد.

۶. در ابتدای هر دو دقیقه، ظرفی را زیر لوله خروجی آب سرد قرار داده و همزمان زمان سنج را روشن کنید. ۳۰ ثانیه بعد، همزمان با خاموش کردن زمان سنج این ظرف را از زیر دستگاه بیرون بیاورید. جرم آب داخل ظرف را به دقت اندازه‌گیری کنید و در جدول ۱ یادداشت نمایید (m).

تذکر: قبل از اینکه ظرف‌ها را زیر لوله خروجی آب سرد قرار دهید، جرم آنها را با ترازو اندازه‌گیری کنید تا بتوانید m را از تفاضل جرم ظرف+آب و ظرف به‌دست آورید.

۷. میانگین دماهای $\bar{T}_1$ تا $\bar{T}_4$ و جرم آب سرد اندازه‌گیری شده ($\bar{m}$) را به همراه خطاهای آنها محاسبه کرده و در جدول ۱ یادداشت کنید.

۸. با استفاده از مقادیر میانگین به‌دست آمده و همچنین استفاده از $c_w = 1 \frac{cal}{gr^\circ C}$ ، $t = 30 \text{ sec}$ ، با کمک از رابطه‌های زیر H و k را محاسبه و در جدول ۱ ثبت کنید:

$$H = \frac{\bar{m}c_w(\bar{T}_4 - \bar{T}_3)}{t}, \quad k = \frac{HL}{A(\bar{T}_1 - \bar{T}_2)} \quad (3)$$

۹. خطای مطلق و نسبی مربوط به H و k را به‌دست آورید و در جدول ۱ ثبت کنید. خطای نسبی c_w را برابر با یک درصد و خطای مطلق خواندن زمان سنج را ۰/۱ ثانیه در نظر بگیرید.

۱۰. نسبت به نتایج به‌دست آمده و با به در نظر گرفتن منابع خطا بحث و نتیجه‌گیری کنید. در صورتی که روش بهتری برای انجام آزمایش سراغ دارید، بیان کنید.

۱۱. مقدار واقعی k برنج را از منابع دیگر یافته و با مقدار به دست آمده در اینجا مقایسه کنید.

اندازه‌گیری جرم آب در هر ۳۰ ثانیه $m(gr)$	دمای آب خروجی از انتهای سرد میله $T_4(^{\circ}C)$	دمای آب سرد ورودی $T_3(^{\circ}C)$	دمای انتهای میله‌ی متصل به منبع سرد $T_2(^{\circ}C)$	دمای ابتدای میله‌ی متصل به منبع گرم $T_1(^{\circ}C)$	زمان تکرار
					۲ دقیقه‌ی اول
					۲ دقیقه‌ی دوم
					۲ دقیقه‌ی سوم
					۲ دقیقه‌ی چهارم
					۲ دقیقه‌ی پنجم
$\bar{m} =$	$\bar{T}_4 =$	$\bar{T}_3 =$	$\bar{T}_2 =$	$\bar{T}_1 =$	میانگین در ۱۰ دقیقه
$H = \dots \pm \dots \frac{\text{cal}}{\text{sec}}, \frac{\Delta H}{H} = \dots\% ; k = \dots \pm \dots \frac{\text{cal}}{\text{sec.cm.}^{\circ}C}, \frac{\Delta k}{k} = \dots\%$					

جدول ۱

به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

- ۱- علت این که در یک محیط با دمای ثابت از دو جسم فلزی و چوبی احساس دمای متفاوتی داریم چیست؟
- ۲- مقدار گرمایی که در آغاز آزمایش به‌وسیله‌ی بخار به ابتدای میله فرستاده می‌شود تا زمانی که در آن ترازمندی گرمایی (رژیم پایدار) برقرار نشده به کجا می‌رود؟ آیا در این مدت خطوط شار گرمایی، موازی محور میله هستند؟
- ۳- آیا از این روش می‌توان برای اندازه‌گیری موادی که ضریب رسانش گرمایی آن‌ها کم است، استفاده کرد؟
- ۴- کدام یک از این دو اختلاف دما، مربوط به میله و مربوط به آب سرد باید با دقت بیشتری اندازه‌گیری شود و چرا؟
- ۵- با توجه به رابطه ۳ برای k ، ضریب رسانش گرمایی، آیا طول میله و دمای دو سر آن در ضریب رسانش گرمایی ماده موثر هستند؟ چرا؟

آزمایش شماره (۴)

الف) انبساط طولی در جامدها

هدف:

اندازه‌گیری ضریب انبساط طولی اجسام جامد (α)

زمینه‌ی نظری:

یکی از آثار گرما بر اجسام جامد تغییر شکل ظاهری آن است. بیشتر جامدها در اثر افزایش دما، منبسط می‌شوند. بنا به تعریف، ضریب انبساط طولی یک جسم جامد برابر است با تغییر طول واحد یک جسم به ازای تغییر دما به اندازه‌ی یک درجه، به گونه‌ای که داریم:

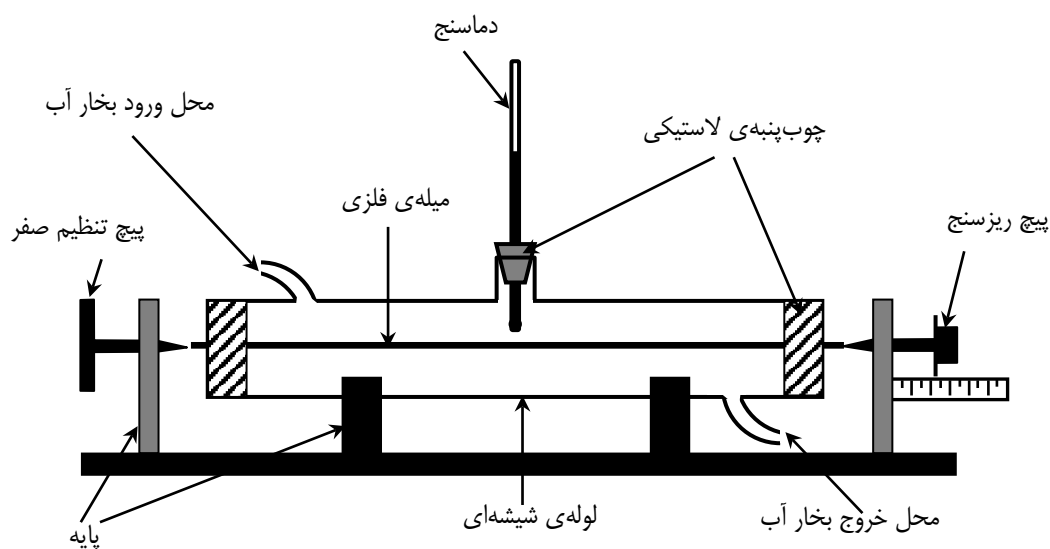
$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l(T_2 - T_1)} = \frac{\Delta l}{l \Delta T} \quad (۱)$$

که در آن ΔT تغییر دما، Δl تغییر طول در اثر تغییر دما و l طول مؤثر جسم است ($l_1 < l < l_2$) که اگر تغییرات نسبی طول زیاد نباشد، می‌توان قرار داد: $l \cong l_1$ پس:

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1(T_2 - T_1)} = \frac{\Delta l}{l_1 \Delta T} \quad (۲)$$

وسایل مورد نیاز: گرم‌کن برقی، ظرف مخصوص تهیه‌ی بخار (دیگ بخار)، لوله‌های لاستیکی جهت انتقال بخار آب، دماسنج، اهم‌متر، سیم‌های رابط، دستگاه اندازه‌گیری ضریب انبساط طولی

معرفی دستگاه اندازه‌گیری ضریب انبساط طولی: دستگاهی مانند شکل ۱ شامل یک میله‌ی فلزی در داخل یک لوله‌ی شیشه‌ای توخالی که دو طرف آن میله، دو پیچ تنظیم وجود دارد. یکی از پیچ‌ها غیرمدرج و پیچ دیگر به صورت یک ریزسنج مدرج است. از پیچ غیرمدرج برای تنظیم صفر دستگاه استفاده می‌شود. لوله‌ی شیشه‌ای توخالی توسط دو پایه بر روی بدنه‌ی فلزی دستگاه ثابت شده است و دارای دو سوراخ در دو انتها برای ورود و خروج بخار آب و یک سوراخ در وسط آن جهت قرار دادن دماسنج می‌باشد. میله‌ی فلزی مورد نظر، از وسط دو چوب‌پنبه‌ی لاستیکی گذشته و در میان لوله‌ی شیشه‌ای محکم می‌شود.



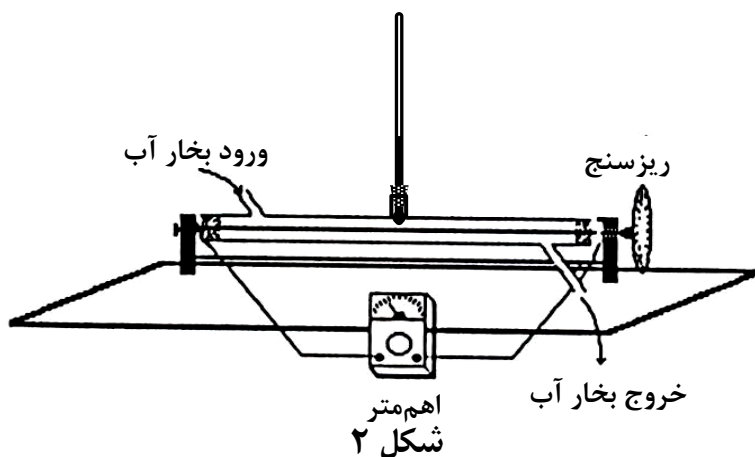
شکل ۱

روش انجام آزمایش:

۱. قبل از کار کردن با دستگاه، نخست طرز کار ریزسنج دستگاه و خواندن آن را خوب یاد بگیرید، سپس طول اولیه میله و خطای آن را اندازه بگیرید و یا از مسئول آزمایشگاه بپرسید (l_1).

۲. میله فلزی درون لوله شیشه‌ای را در تماس با قسمت ثابت قرار دهید. ریزسنج را در محل آن محکم کنید به گونه ای که نوک ریزسنج در تماس با سر دیگر میله قرار گیرد. درجه ریزسنج را یادداشت کنید (β_1). می‌توانید محل ریزسنج را به گونه ای تنظیم کنید که نوک ریزسنج در تماس با سر دیگر میله باشد و در عین حال درجه ریزسنج عدد صفر را نشان دهد. از یک آوومتر برای اطمینان از اینکه یک سر میله به انتهای ثابت و سر دیگر با نوک ریزسنج تماس پیدا کرده استفاده کنید، به این ترتیب که یک سر سیم را به انتهای ثابت و سر دیگر را به

انتهای ریزسنج وصل کنید و انتخاب‌گر (سلکتور) آوومتر را روی Ω قرار دهید (شکل ۲). هنگامی که میله از یک طرف با پیچ تنظیم صفر و از طرف دیگر با ریزسنج در تماس قرار گیرد، عقربه‌ی اهم‌متر منحرف می‌گردد.



۳. ریزسنج را حدود ۲ میلی متر باز کنید تا از میله فاصله بگیرد. دقت کنید که از این به بعد، دستگاه حتی الامکان نباید تکان بخورد زیرا در اندازه گیری β_1 و β_2 خطا ایجاد می کند.
۴. دمای آزمایشگاه (T_1) را یادداشت کنید.
۵. مقداری آب در ظرف مخصوص تهیه ی بخار ریخته، آن را روی گرم کن برقی قرار دهید تا به جوش آید و بخار وارد لوله شیشه ای شود و میله را گرم کند.
۶. مطمئن شوید که بخار آب از یکی از ورودی های لوله ی شیشه ای وارد و از دیگری خارج می شود. پس از حدود ده دقیقه که از هم دمایی میله و بخار آب در دستگاه اطمینان حاصل کردید، دمای دماسنج قرار گرفته در وسط لوله ی شیشه ای (T_2) را یادداشت نمایید.
۷. ریزسنج را به آرامی بچرخانید تا بار دیگر با نوک میله ی فلزی تماس پیدا کند و عقبه ی اهم متر مجدداً منحرف شود. عدد ریزسنج را در این حالت بخوانید (β_2).
۸. گرم کن برقی را خاموش کنید تا جریان ورود بخار قطع شود. در اینصورت میله شروع به سرد شدن می کند. به ازای هر ۵ درجه سانتیگراد کاهش دمای میله، درجه های ریزسنج متناظر با آن (β_2) را مانند مرحله ۷ بخوانید و در جدول ۱ یادداشت کنید.

$T_2(^{\circ}C)$												
$\beta_2(cm)$												

جدول ۱

۹. ضریب انبساط طولی میله را می توان با استفاده از رابطه $\alpha = \frac{\beta_2 - \beta_1}{l_1(T_2 - T_1)} = \frac{\Delta\beta}{l_1\Delta T} \Rightarrow \Delta\beta = (\alpha l_1)\Delta T$ به دست آورد. با استفاده از داده های جدول ۱ و رسم نمودار $\Delta\beta$ بر حسب ΔT روی کاغذ میلیمتری، مقدار α و خطای نسبی و مطلق آن را حساب کنید.
۱۰. با استفاده از رابطه ی (۲)، تنها برای ستون اول جدول ۱ ضریب انبساط طولی میله α را به دست آورده و با روش دیفرانسیل لگاریتمی، مقدار خطای نسبی و مطلق مربوط به آن را محاسبه کنید. این مقدار را با مقدار به دست آمده در مرحله ۹ مقایسه نمایید.
۱۱. مقدار α میله مسی را در منابع دیگر مانند اینترنت بیابید و با مقدار به دست آمده در اینجا مقایسه کنید.

به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

- ۱- ضریب انبساط طولی به چه عواملی بستگی دارد؟ با توجه به رابطه ۲، آیا به طول اولیه میله بستگی دارد؟
- ۲- عوامل خطا در این آزمایش کدامند؟ برای کاستن هر یک چه پیشنهادی دارید؟
- ۳- چرا برای اندازه‌گیری Δl مستقیماً l_1 و l_2 را اندازه نمی‌گیریم؟ انتخاب مبدأ اندازه‌گیری مناسب چه تأثیری در دقت آزمایش دارد؟
- ۴- آیا با دستگاه بالا می‌توان ضریب انبساط طولی میله‌ی شیشه‌ای را اندازه گرفت؟ چرا؟

(ب) قانون بویل – ماریوت**هدف:**

تعریف و تحقیق قانون بویل – ماریوت

زمینه‌ی نظری:

قانون بویل-ماریوت: حاصل ضرب فشار در حجم در دمای ثابت برای مقدار ثابتی از هر گاز کامل، مقداری است ثابت:

$$PV = nRT = \text{Const} \quad (۱)$$

یا:

$$P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 = \dots$$

در این رابطه، P فشار، V حجم، T دما، n تعداد مول‌های گاز و $R = 8.315 \text{ J/mol.k} = 1.986 \text{ cal/mol.k}$ ثابت گازها است.

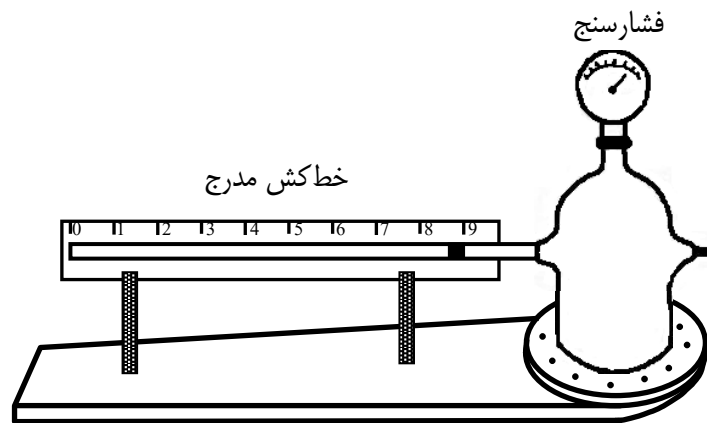
وسایل مورد نیاز آزمایش:

فشارسنج جیوه‌ای، تلمبه‌ی باد، دماسنج، دستگاه تراکم هوا

معرفی دستگاه تراکم هوا: دستگاه تراکم هوا مطابق شکل ۳ از قسمت‌های زیر تشکیل شده است:

الف) مخزنی برای تراکم هوا که با یک فشارسنج پیمانه‌ای بر روی آن می‌توان فشار هوای داخل آن را اندازه گرفت.

ب) یک لوله‌ی نازک شیشه‌ای که روی یک خط‌کش به طور افقی نصب شده است. لوله از یک انتها مسدود و از انتهای دیگر به مخزن قسمت «الف» متصل است و یک قطره جیوه، هوای داخل لوله را از هوای مخزن جدا می‌کند. به کمک تلمبه‌ی باد، می‌توان هوای داخل مخزن و در نتیجه هوای لوله را متراکم نمود.



شکل ۳

روش انجام آزمایش:

۱. ابتدا فشار هوا را در محیط آزمایشگاه به کمک فشارسنج جیوه‌ای آزمایشگاه اندازه بگیرید (P_0) و دمای آزمایشگاه را به کمک دماسنج (T) تعیین کنید.
۲. دقت کنید که با توجه به رابطه‌ی ۲، به علت ثابت بودن سطح مقطع لوله، طول خط کش معرف حجم خواهد بود:

$$V = AL = A(l + \varepsilon) \quad (۲)$$

که در آن V حجم گاز درون لوله، A سطح مقطع لوله، L طول واقعی ستون گاز، l عدد خوانده شده از روی خط کش و ε خطای صفر (مجهول) خط کش است.

تذکر: فشارسنج دستگاه، همواره فشار ظاهری یا مانومتری را نمایش می‌دهد. یعنی وقتی که عقربه‌ی آن روی صفر است، هوای مخزن و لوله هر دو در فشار هوای آزمایشگاه (P_0) هستند. عددی که عقربه‌ی فشارسنج نشان می‌دهد (P_1)، اضافه بر فشار هوای آزمایشگاه است.

۲. مقدار A و خطای آن را اندازه‌گیری کنید و یا از مسئول آزمایشگاه بپرسید.

۳. فشار داخل لوله، P_1 ، را با چند بار تلمبه زدن زیاد کنید و سپس $0/2$ ، $1/2$ (بر حسب Kg/cm^2) فشار P_1 را کم کنید (حداکثر تا 2 Kg/cm^2). در هر مرحله کم کردن فشار، مقدار فشار کل، P ، و طول مربوطه را در جدول ۲ یادداشت کنید.

$$P_0 = \dots\dots\dots (\text{Kg/cm}^2)$$

$P = P_0 + P_1 (\text{kg/cm}^2)$								
$l(\text{cm})$								
$1/P (\text{cm}^2/\text{kg})$								

جدول ۲

۴. اگر قانون بویل-ماریوت درست باشد، باید نمودار l بر حسب $\frac{1}{P}$ خط راستی به صورت $l = \left(\frac{nRT}{A} \right) \frac{1}{P} - \varepsilon$ باشد. این نمودار را روی کاغذ میلیمتری رسم کنید. با محاسبه شیب نمودار مقدار n ، تعداد مول‌های گاز درون لوله شیشه‌ای، را محاسبه و خطای مطلق و نسبی آن را به دست آورید. برای محاسبه درست n به مول، به تبدیل یکاها توجه کنید.

به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

- ۱- حجمی که یک گاز در شرایط متعارفی اشغال می‌کند، چقدر است؟
- ۲- واحد مختلط kg.cm چه گونه به ژول تبدیل می‌شود؟
- ۳- چرا فشار را به آرامی باید کم کرد؟ دلیل فیزیکی آن را بیان کنید.
- ۴- دیده می‌شود بعد از هر تلمبه‌ای که زده می‌شود، قطره‌ی جیوه به سمت چپ حرکت کرده و پس از اندکی به طرف راست باز می‌گردد. علت فیزیکی این پدیده را بیان کنید.

بخش دوم:

موج و نور

آزمایش شماره (۵)

اندازه‌گیری سرعت صوت در هوا به کمک لوله‌ی صوتی

هدف:

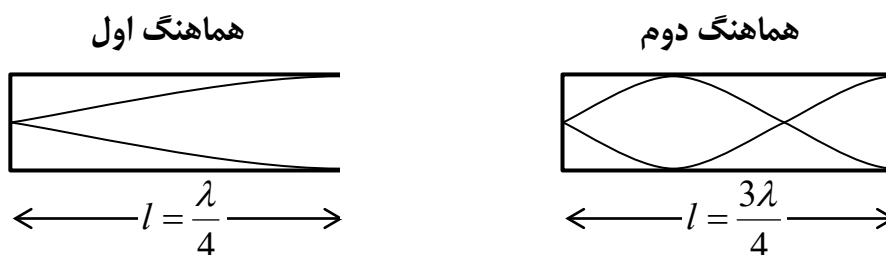
اندازه‌گیری سرعت صوت در هوا با استفاده از تشدید در لوله‌های صوتی و محاسبه‌ی سرعت صوت در هوای صفر درجه

زمینه‌ی نظری:

می‌دانیم سرعت صوت در هر محیط از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$V = f\lambda \quad (۱)$$

که در آن V سرعت صوت، f بسامد و λ طول موج صوت است. اگر بسامد صوتی را بدانیم و طول موج آن را به طریقی اندازه بگیریم، سرعت آن قابل محاسبه است. برای اندازه‌گیری سرعت صوت در هوا از پدیده‌ی تشدید در لوله‌های صوتی استفاده می‌کنیم. وقتی امواج صوتی به انتهای لوله‌ی بسته برخورد کنند، بازتاب شده و امواج بازتاب شده با امواج اولیه، تشکیل امواج ساکن می‌دهند. در صورتی که طول لوله، مضرب فردی از $\lambda/4$ باشد، در لوله‌ی صوتی تشدید صورت گرفته و صدا با شدت بیش‌تری به گوش خواهد رسید (شکل ۱).



شکل ۱

یا به عبارتی:

$$l = \frac{2K-1}{4} \lambda \Rightarrow \lambda = \frac{4l}{2K-1} \quad (۲)$$

که در آن K شماره‌ی صوت یا عدد هماهنگ صوت در هوای داخل لوله است. در این حالت با

توجه به رابطه‌های ۱ و ۲، بین سرعت صوت V و طول لوله‌ی بسته‌ی l رابطه‌ی زیر برقرار است:

$$V = \frac{4l}{2K-1} f \quad (۳)$$

و از آن جا داریم:

$$L = \frac{(2K-1)V}{4} \frac{1}{f} + \varepsilon \quad (۴)$$

که در آن $L = l + \varepsilon$ در نظر گرفته شده است (به علت وجود خطا در اندازه گیری دقیق l). بنابراین نمودار L بر حسب l/f خط مستقیمی با شیب $\frac{(2K-1)V}{4}$ خواهد بود. عرض از مبدأ این خط، ε ، به خطای اندازه گیری l (از جمله فاصله ی بلندگو تا دهانه ی لوله و محل صفر متر) بستگی دارد. اگر هندسه ی وسایل را در طی آزمایش برهم نزنیم، انتظار داریم ε مقدار ثابتی باشد. برای محاسبه ی سرعت صوت در دماهای مختلف از رابطه ی تجربی زیر استفاده می کنیم:

$$V = V_0 + 0.61T \quad (۵)$$

که در آن V سرعت صوت در دمای T (بر حسب سلسیوس) و V_0 سرعت صوت در هوای صفر درجه سلسیوس است.

وسایل مورد نیاز:

استوانه ی شیشه ای مدرج که توسط لوله ی لاستیکی بلندی به منبع آب متصل است، نوسان ساز (اُسیلاتور)، تقویت کننده ی صوتی (آمپلی فایر)، بشر، دماسنج، بلندگو و گیره های مخصوص.

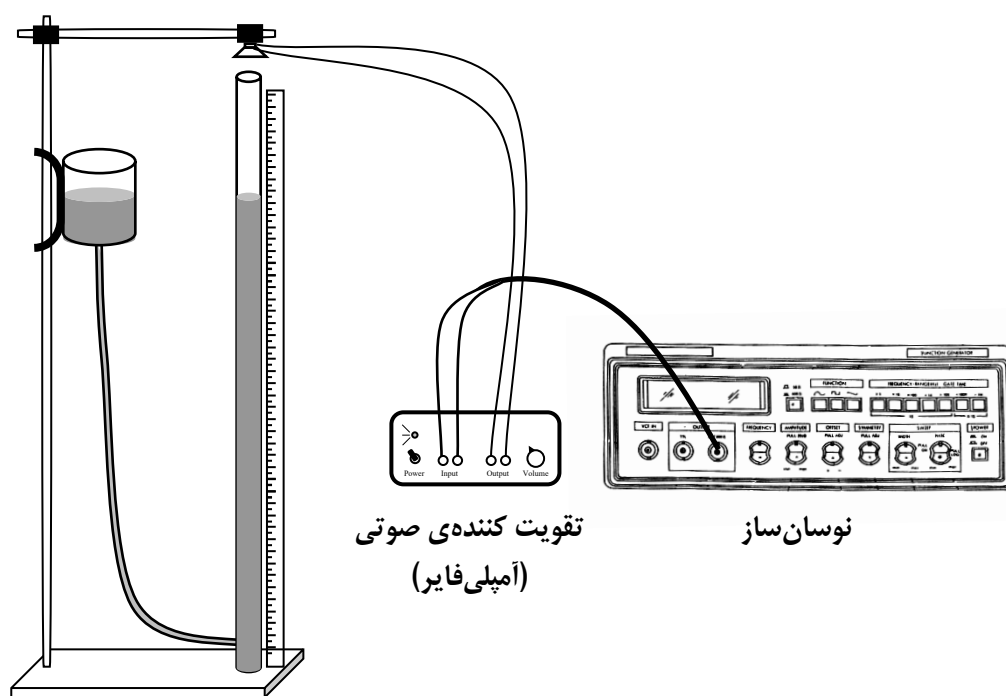
روش انجام آزمایش:

۱. دستگاه را از آب پر کرده تا حدی که با پایین بردن مخزن آب تا حدود ۳۰ سانتی متر، آب از آن سرریز نشود.

۲. دستگاه های نوسان ساز، تقویت کننده ی صوتی و بلندگو را مطابق شکل ۲ به یکدیگر وصل کنید. بلندگو را در فاصله ی تقریبی ۱ سانتی متری از لبه ی لوله ی صوتی تنظیم کنید.

نوسان سازی که در اختیار دارید، قادر است امواج سینوسی، دندانه اره ای و مربعی (به وسیله ی دکمه های FUNCTION) با گستره ی بسامد ۰/۰۲ هرتز تا ۲ مگاهرتز (به وسیله ی پیچ FREQUENCY) و گستره ی ولتاژ دامنه ی ۰ تا ۲۰ ولت (به وسیله ی پیچ AMPLITUDE) را تولید کند. نوع موج را در این آزمایش از نوع سینوسی انتخاب کرده و با قرار دادن دکمه ی FREQUENCY RANGE روی حالت 1K × بسامد را ۲۰ تا ۲۰۰۰ هرتز انتخاب می کنیم که توسط پیچ بسامد در این محدوده قابل تغییر است. کابل مخصوصی توسط اتصال BNC به خروجی 50/600Ω نوسان ساز متصل می شود. و سر دیگر آن به ورودی (Input) تقویت کننده ی صوتی (آمپلی فایر) متصل می گردد. حال خروجی (Output)

تقویت کننده‌ی صوتی را به بلندگو وصل نمایید. به وسیله‌ی دکمه‌ی Power هر دو دستگاه را روشن کنید. اکنون می‌توانید به کمک پیچ‌های AMPLITUDE نوسان‌ساز و یا Volume تقویت کننده‌ی صوتی، شدت صدای بوق شنیده شده را کم و زیاد کنید. این صدای بوق مربوط به موج ایجاد شده با بسامدی مشخص توسط نوسان‌ساز است که به وسیله‌ی آمپلی‌فایر تقویت می‌شود.



شکل ۲

۳. به کمک پیچ FREQUENCY و صفحه‌ی نمایش نوسان‌ساز، بسامد مورد نظر خود را تنظیم کنید و چون مایلیم نقاط مربوط به آزمایش، بر روی منحنی، تقریباً هم‌فاصله باشند، بسامدها را به گونه‌ای انتخاب می‌کنیم که $1/f$ ها تقریباً هم‌فاصله باشند؛ مثلاً می‌توان بسامدهایی در حدود بسامدهای زیر را انتخاب کرد:

$$f \cong 600, 540, 490, 440, 410, 380, 350 \text{ Hz}$$

بسامد نوسان‌ساز را روی بسامد مورد نظر (مثلاً حدود 600 هرتز) تنظیم کنید. مخزن آب را به آرامی پایین ببرید تا سطح آب درون لوله هم پایین برود. سطح آب را به دقت نگاه کنید و جایی که صدا به نخستین بیشینه‌ی اصلی خود رسید، درجه‌ی متر را بخوانید. این عمل را چند مرتبه تکرار کنید تا محل دقیق سطح آب، L ، کاملاً مشخص شود. این صدا مربوط به تشدید (هماهنگ) اول یا $K=1$ است. مقادیر f و L را در جدول ۱ ثبت کنید.

۴. با پایین تر بردن مخزن آب، تشدید (هماهنگ) دوم یا $K=2$ را نیز ایجاد کنید (دومین بیشینه صدا در لوله). این عمل را چند مرتبه تکرار کنید تا محل دقیق سطح آب کاملاً مشخص شود. در این حالت محل دقیق سطح آب را اندازه گرفته و در جدول ۱ ثبت کنید.
۵. مرحله‌های ۳ و ۴ را برای ۶ بسامد دیگر تکرار کنید و در جدول ۱ ثبت نمایید.

f (Hz)							
$1/f$ (s)							
L (cm)	$K = 1$						
	$K = 2$						

جدول ۱

۶. با رسم نمودارهای L بر حسب $1/f$ (یک بار برای $K=1$ و یک بار برای $K=2$) و اندازه‌گیری شیب آن‌ها، دو مقدار برای سرعت صوت در دمای آزمایشگاه به‌دست آورید و خطای مطلق و نسبی هر یک از آن‌ها را تعیین کنید.
۷. میانگین دو مقدار سرعت صوت به‌دست آمده در مرحله ۶ را به عنوان سرعت صوت در دمای آزمایشگاه محاسبه کنید و خطای آن را به‌دست آورید.
۸. دمای آزمایشگاه، T ، را اندازه بگیرید. با استفاده از مقدار میانگین سرعت صوت به‌دست آمده در مرحله ۷ و استفاده از رابطه‌ی ۵، سرعت صوت در دمای صفر درجه سلسیوس، V_0 ، را محاسبه کنید. خطای مطلق و نسبی V_0 را نیز به‌دست آورید.
۹. مقدار سرعت صوت در دمای صفر درجه سلسیوس را با مقدار 331 m/s مقایسه کنید.

به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

- ۱- سرعت صوت در محیط به چه عواملی بستگی دارد؟
- ۲- عوامل خطا را در آزمایش بالا بیان کنید؟
- ۳- آیا می‌توان این آزمایش را با لوله‌ی صوتی باز انجام داد؟ توضیح دهید.

آزمایش شماره (۶)

سیم مرتعش

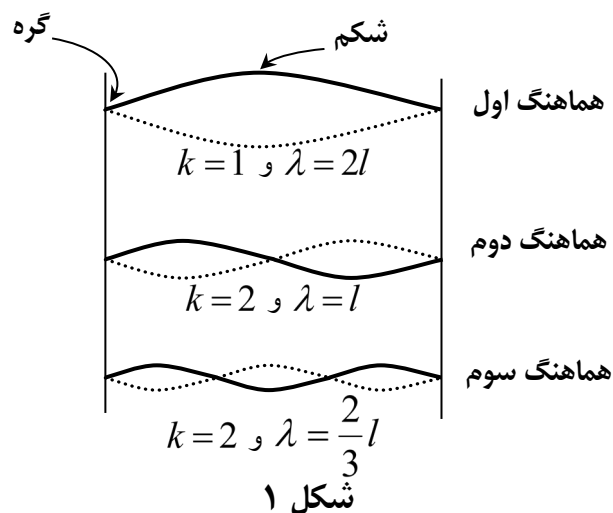
هدف:

اندازه گیری بسامد یک منبع ارتعاش و بررسی امواج ساکن در سیم‌های مرتعش

زمینه‌ی نظری:

امواج ساکن در اثر تداخل دو موج با طول موج، سرعت انتشار و دامنه یکسان که در یک محیط و در جهت مخالف یکدیگر در حرکت‌اند پدید می‌آیند. شرط لازم برای به وجود آمدن امواج ساکن در یک سیم، ارتعاش آن از یک انتها و انعکاس همان ارتعاش‌ها از انتهای دیگر (در اثر برخورد با مانع سخت) و تداخل این دو ارتعاش است.

وقتی یک سیم با بسامد f به ارتعاش در آید و امواج ساکن در آن پدید آیند، حالات مختلفی در سیم به وجود می‌آیند که این حالات به نیروی کشش وارد بر سیم بستگی دارند. از طرف دیگر در هر یک از این حالات طول موج و در نتیجه سرعت انتشار موج در سیم مرتعش تغییر می‌کند. در شکل ۱، نمونه‌هایی از شکل‌هایی که سیم می‌تواند به خود بگیرد، نشان داده شده است.



طول سیم l ، طول موج λ و K تعداد شکم هاست. به طور کلی با توجه به شکل ۱ می‌توان رابطه بین l و K را به صورت زیر نوشت:

$$\lambda = \frac{2l}{K} \quad (۱)$$

از طرف دیگر می‌دانیم که سرعت انتشار امواج، v ، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$v = f\lambda \quad (۲)$$

که در آن f بسامد ارتعاش سیم (موج) است. از سوی دیگر آزمایش نشان داده که بین نیروی کشش سیم، F و v رابطه زیر برقرار است:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (۳)$$

که در آن μ جرم واحد طول سیم است. از ترکیب روابط (۱)، (۲) و (۳) داریم:

$$f = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \frac{K}{2\ell} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (۴)$$

این رابطه به قانون ملد (*Melde*) معروف است. حالت با $K=I$ کمترین بسامدی است که می‌توان در سیم ایجاد کرد و به آن بسامد اصلی یا پایه سیم گفته می‌شود.

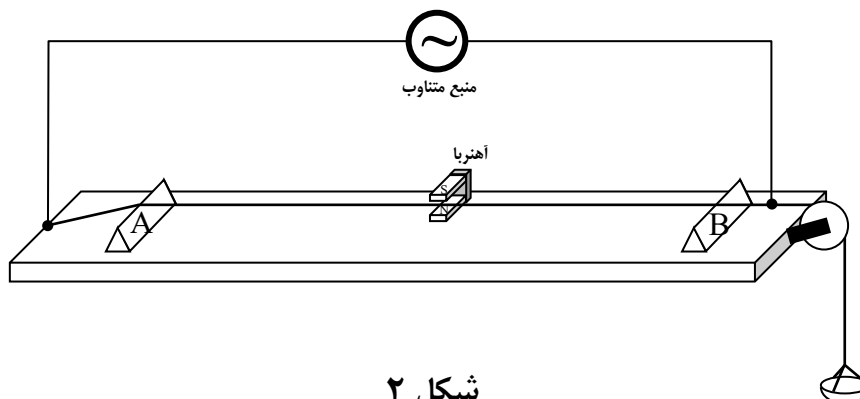
وسایل مورد نیاز:

ترانسفورماتور کاهنده، رئوستا، سونومتر، وزنه، سیم رابط، خرک، کلید قطع و وصل، دیپازن الکتریکی، مبدل کاهنده و یکسو کننده برق شهر، ترازوی حساس، متر.

روش انجام آزمایش:

الف) محاسبه بسامد منبع مرتعش:

۱. در این بخش از دستگاه سونومتر کمک گرفته می‌شود. این دستگاه در شکل ۲ نشان داده شده است. آهنربای دائمی در میانه فاصله AB قرار می‌گیرد. هنگامی که منبع تغذیه روشن شود، جریان از سیم AB سونومتر عبور می‌کند. در این حالت، آهنربای دائمی نیرویی عمود بر جهت جریان و میدان مغناطیسی بر سیم سونومتر وارد می‌کند. بسامد این نیرو با بسامد منبع برابر است و سیم با همین بسامد به ارتعاش در می‌آید.



شکل ۲

اگر بسامد طبیعی سیم با بسامد منبع برابر شود، تشدید ایجاد می‌شود و با توجه به رابطه (۴) وقتی یک شکم ایجاد شود، داریم:

$$f_1 = \frac{1}{2\ell} \sqrt{\frac{Mg}{\mu}} \Rightarrow \sqrt{M} = \left(2f_1 \sqrt{\frac{\mu}{g}} \right) \ell \quad (5)$$

که در آن M جرم کفه و وزنه‌های درون آن و g شتاب جاذبه است. که اگر منحنی $\sqrt{M}$ بر حسب ℓ رسم شود خط مستقیمی به دست می‌آید که شیب آن $2f_1 \sqrt{\mu/g}$ است و از روی آن می‌توان بسامد منبع، f_1 ، را به دست آورد.

۲. جرم کفه خالی (m_0) را اندازه بگیرید یا از مسئول آزمایشگاه بپرسید و به همراه خطای آن در بالای جدول ۱ بنویسید. وزنه m (نوشته شده در جدول ۱) را داخل کفه قرار دهید. کلید منبع تغذیه را روشن کنید تا جریان از سیم AB سونومتر عبور کند.

۳. محل خرک متغیر B را به گونه‌ای تغییر دهید که سیم دارای یک شکم با دامنه بیشینه در فاصله AB شود. در این حالت فاصله خرک B تا خرک ثابت A ، یعنی ℓ ، را با متر اندازه گرفته و در جدول ۱ ثبت کنید.

تذکره: دقت کنید که برای هر m ، آهنربای دائمی را در میانه فاصله ℓ قرار دهید.

۴. برای هر m نوشته شده در جدول ۱ مراحل ۲ و ۳ را تکرار کنید.

۵. با اندازه گیری جرم و طول سیمی هم جنس با سیم اصلی، جرم واحد طول سیم، μ ، را پیدا کنید یا مقدار آن را از مسئول آزمایشگاه بپرسید. مقدار μ را به همراه خطای آن در بالای جدول ۱ بنویسید.

۶. برای هر ستون جدول ۱، مقدار f را محاسبه و خطای مطلق و نسبی هر یک را به روش دیفرانسیل لگاریتمی به دست آورید و در جدول وارد نمایید. میانگین f های محاسبه شده، $\bar{f}$ ، و خطای آن را به دست آورید و در بالای جدول ۱ بنویسید. مقدار شتاب جاذبه زمین را برابر با $g = 980 \text{ cm/s}^2$ با خطای نسبی یک درصد در نظر بگیرید. خطای نسبی وزنه‌ها، m ، را هم یک درصد بگیرید.

۷. خط $\sqrt{M}$ بر حسب ℓ را رسم نموده، و با کمک گرفتن از رابطه ۵، f را به دست آورید و خطای مطلق و نسبی آن را محاسبه نمایید.

۸. مقدار f محاسبه شده از شیب نمودار را با مقدار میانگین محاسبه شده در مرحله ۶ و بسامد برق شهر، مقایسه کنید و نتایج خود را بنویسید.

$m_0 = \dots \pm \dots (gr)$	$\mu = \dots \pm \dots (gr/cm)$		$\bar{f} = \dots \pm \dots (Hz)$				
$m(gr)$ جرم وزنه ها	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۳۵۰
$\ell (cm)$							
$M = m_0 + m (gr)$ جرم کفه و وزنه ها							
$\sqrt{M} (\sqrt{gr})$							
$f = \frac{1}{2\ell} \sqrt{\frac{Mg}{\mu}} (Hz)$							
$\Delta f (Hz)$							
$\frac{\Delta f}{f} \%$							

جدول ۱

ب) امواج ساکن در سیم های مرتعش:

۱. در این آزمایش از مبدل کاهنده و یکسوکننده برق شهر که یک دیپازن الکتریکی را به ارتعاش در می آورد استفاده می شود. نخست طول نخ را که از یک انتها به محل مخصوص دیپازن الکتریکی و از انتهای دیگر به کفه متصل است، l ، اندازه گیری نمایید و به همراه خطای آن در بالای جدول ۲ بنویسید.

۲. با اندازه گیری جرم و طول نخ هم جنس با نخ متصل به دیپازن، جرم واحد طول نخ، μ ، و خطای مطلق و نسبی آن را محاسبه کنید و در بالای جدول ۲ وارد کنید.

۳. جرم کفه خالی (m_0) را اندازه بگیرید یا از مسئول آزمایشگاه بپرسید و به همراه خطای آن در بالای جدول ۲ بنویسید.

۴. دیپازن الکتریکی را به کمک سیم های رابط به دستگاه مبدل وصل کنید و کلید مبدل را روی ۳ ولت قرار دهید. دستگاه مبدل را روشن کنید. در صورت نیاز می توانید زیر نظر کارشناس آزمایشگاه قدری ولتاژ را افزایش دهید ولی دقت کنید که افزایش بیش از حد ولتاژ باعث سوختن سیم پیچ های دیپازون خواهد شد. مشاهده خواهید کرد که دیپازون به ارتعاش در می آید.

تذکره: اگر دیپازن به ارتعاش در نیامد، از کارشناس آزمایشگاه راهنمایی بخواهید.

۵. مبدل را خاموش کنید. وزنه مناسبی در کفه قرار دهید و دوباره مبدل را روشن نمایید. پیچ تنظیم دیاپازن را به گونه‌ای تنظیم کنید که صدای یکنواختی از دیاپازن شنیده شود. وزنه‌ها را به مقدار کم با وزنه‌های کوچک آنقدر تغییر دهید، که حالتی با یک شکم (شکل ۱) را به وضوح در سیم ببینید. توجه داشته باشید که شکلی قابل قبول است که دامنه شکم در آن بیشینه باشد. پس از یافتن شکل مطلوب، جرم وزنه‌ها (m) را با ترازو اندازه بگیرید و در جدول ۲ ثبت کنید.

نکته: خطای m همان خطای ترازوی اندازه‌گیری خواهد بود.

۶. مرحله ۵ را با جرم‌های دیگر به گونه‌ای تکرار کنید تا شکل‌هایی با دو تا پنج شکم را در سیم ببینید. در هر حالت جرم وزنه‌ها (m) را با ترازو اندازه بگیرید و در جدول ۲ وارد نمایید.

۷. برای هر K ، مقدار f و خطای نسبی و مطلق آن را با کمک گرفتن از فرمول (۴) محاسبه کنید و در جدول ۲ بنویسید. میانگین f ‌های محاسبه شده، $\bar{f}$ ، و خطای آن را به دست آورید و در بالای جدول ۲ بنویسید.

$m_0 = \dots \pm \dots (gr)$ $l = \dots \pm \dots (cm)$	$\mu = \dots \pm \dots (gr/cm)$		$\bar{f} = \dots \pm \dots (Hz)$		
K	۱	۲	۳	۴	۵
جرم وزنه‌ها $m(gr)$					
$M = m_0 + m (gr)$					
$\frac{1}{\sqrt{M}} \left(\frac{1}{\sqrt{gr}} \right)$					
$f = \frac{K}{2\ell} \sqrt{\frac{Mg}{\mu}} (Hz)$					
$\Delta f (Hz)$					
$\frac{\Delta f}{f} \%$					

جدول ۲

۸. از رابطه ۴ پیدا است که نمودار K بر حسب $\frac{1}{\sqrt{M}}$ خطی با معادله زیر خواهد شد:

$$K = \left(2l f \sqrt{\frac{\mu}{g}} \right) \frac{1}{\sqrt{M}} \quad (۶)$$

با رسم این نمودار و اندازه گیری شیب آن، مقدار f و خطای مطلق و نسبی آن را به دست آورید و با میانگین محاسبه شده در مرحله ۷ و بسامد واقعی دیاپازون، که روی خود دیاپازن نوشته شده است، مقایسه کنید.

به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

- ۱- امواج ساکنی که می‌شناسید نام ببرید.
- ۲- تفاوت موج طولی و عرضی در چیست؟
- ۳- آیا می‌توان بدون دانستن جرم کفه در بخش‌های (الف) و (ب) در این آزمایش، باز هم f را به دست آورد؟ توضیح دهید.
- ۴- منابع و عوامل خطا در این آزمایش را توضیح دهید.

آزمایش شماره (۷)

میکروسکوپ نوری

هدف:

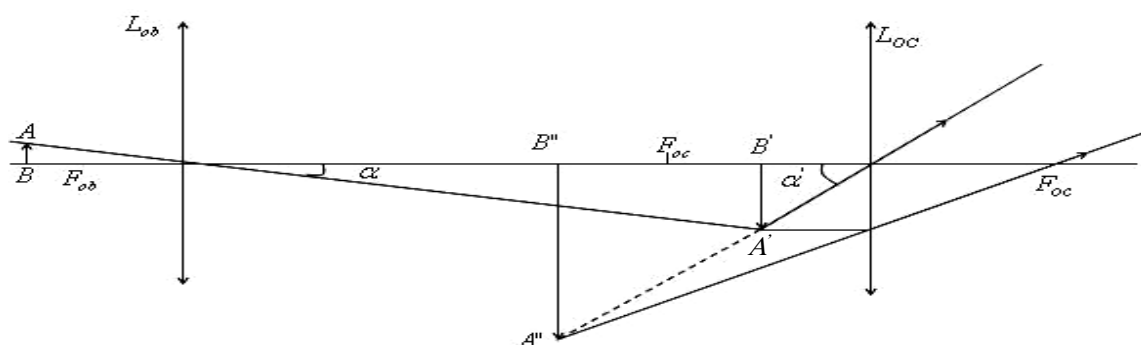
آشنایی با میکروسکوپ و تعیین ضریب شکست تیغه‌ی شیشه‌ای به کمک میکروسکوپ

زمینه‌ی نظری:

بزرگ یا کوچک دیدن اشیاء، به زاویه‌ی دید آن‌ها بستگی دارد. زاویه‌ی دید بعضی از اشیاء در مرکز مردمک چشم برای تشخیص دادن آن‌ها کافی نیست. البته این زاویه را می‌توان با نزدیک کردن جسم به چشم، بزرگ‌تر کرد ولی برای این عمل حدی وجود دارد و کاهش فاصله‌ی جسم تا چشم به این فاصله محدود می‌شود. به این فاصله، کم‌ترین فاصله‌ی دید (The least distance of distinct vision) می‌گویند و برای چشم معمولی حدود ۲۵ cm است. با استفاده از وسایل اپتیکی می‌توان زاویه‌ی دید اجسام را افزایش داد. برای اجسام دور از تلسکوپ و برای اجسام نزدیک ولی کوچک از میکروسکوپ استفاده می‌شود.

میکروسکوپ‌ها که از ترکیب عدسی‌های گوناگون ساخته می‌شوند، این قدرت را به چشم می‌دهند که بتواند اجسام ریز را مشاهده کند. در این دستگاه‌ها، ابتدا یک تصویر حقیقی از جسم به وسیله‌ی یک عدسی به نام شیئی ایجاد می‌شود. سپس با استفاده از عدسی دیگری به نام چشمی تصویر نهایی به وجود می‌آید. برای جلوگیری از فشار ممتد روی عضلات چشم، این تصویر نهایی را در بینهایت تشکیل می‌دهند.

مطابق شکل ۱، جسم کوچک AB به گونه‌ای قرار گرفته که عدسی شیئی (L_{ob}) از آن تصویر حقیقی و معکوس و بزرگ‌تر A'B' را می‌دهد. عدسی چشمی (L_{oc}) جایی است که A'B' در



شکل ۱

(۴۱)

فاصله‌ی کانونی آن قرار گرفته و در نتیجه تصویر نهایی $A''B''$ (مجازی بزرگ‌تر و معکوس) ایجاد شود. اگر $A'B'$ درست روی فاصله کانونی عدسی چشمی قرار داشته باشد، تصویر $A''B''$ در بینهایت تشکیل شده و بزرگ‌نمایی، G ، را می‌توان به راحتی محاسبه کرد:

$$G = \frac{\tan \alpha'}{\tan \alpha} \quad (۱)$$

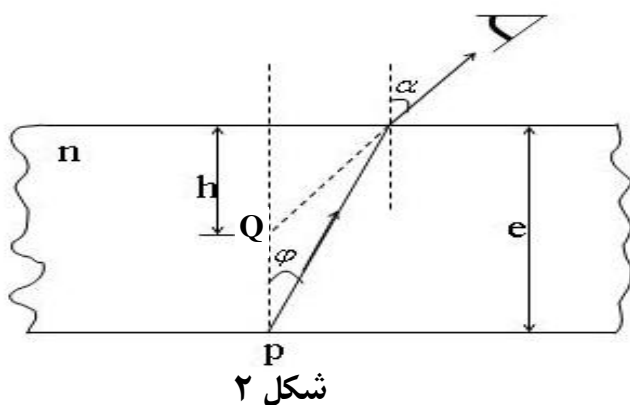
در نتیجه:

$$G = \frac{A'B'/f_{oc}}{AB/D} = \frac{A'B'}{AB} \cdot \frac{D}{f_{oc}} = r_{ob} g_{oc} \quad (۲)$$

r_{ob} بزرگ‌نمایی عدسی شیئی، D فاصله شیئی تا عدسی شیئی و $g_{oc} = \frac{D}{f_{oc}}$ بزرگ‌نمایی

عدسی چشمی است. این مقادیر معمولاً روی عدسی‌های مربوطه نوشته شده است. بنابراین کافی است اعداد نوشته شده روی عدسی‌های شیئی و چشمی را در هم ضرب کنیم تا بزرگ‌نمایی میکروسکوپ به دست آید. عدسی‌های چشمی و شیئی در دو انتهای لوله‌ای به نام لوله‌ی میکروسکوپ قرار دارند. این لوله به وسیله‌ی دو پیچ بالا و پایین می‌رود و نسبت به جسم جابجا می‌شود و به این وسیله می‌توان تصویر نهایی را کانونی و واضح ساخت. یکی از دو پیچ که به پیچ اصلی موسوم است باعث حرکت سریع لوله می‌شود و دیگری که پیچ میکرومتری نامیده می‌شود، برای حرکت جزئی لوله‌ی میکروسکوپ و تنظیم آن به کار می‌رود.

برای اندازه‌گیری شاخص شکست (n) اشیای شفاف چون شیشه و بلور کلسیت نیز می‌توان از میکروسکوپ استفاده کرد. اساس روش بر پدیده‌ی «عمق ظاهری» استوار است.



مطابق شکل ۲، اگر تیغه‌ای به ضخامت e

و شاخص شکست n بر روی یک جسم نقطه‌ای

(P) قرار گیرد، جسم در نقطه‌ای دیگر (مثلاً Q)

دیده می‌شود که محل جدید، تابع زاویه‌ی دید α است.

مقدار e را عمق حقیقی و مقدار h را عمق

ظاهری گویند. اگر تقریباً به صورت عمودی نگاه

کنیم ($\alpha < 6^\circ$) با توجه به قانون اسنل می‌توان اثبات کرد:

$$n = \frac{e}{h} \quad (۳)$$

بنابراین کافی است که e و h را اندازه بگیریم تا n به دست آید. این کار را به کمک میکروسکوپ

انجام خواهیم داد.

وسایل مورد نیاز:

میکروسکوپ نوری، چند عدد لام، کاغذ میلی متری، ریزسنج.

روش انجام آزمایش:

دقت های لازم:

۱. قبل از شروع کار، چگونگی حرکت پایه ی میکروسکوپ به کمک پیچ میکرومتری را بررسی کنید.
۲. در موقع شروع کار با میکروسکوپ دقت کنید که شیشه ها تمیز باشند و شدت نور لامپ میکروسکوپ در بهترین وضعیت باشد (اگر نور لامپ خیلی زیاد باشد، تمایز کم می شود و نور خیلی ضعیف نیز مانع دید خوب است).
۳. در تمام مدت کار با میکروسکوپ هر دو چشم را باز نگه دارید. حتی اگر با یک چشم در میکروسکوپ نگاه می کنید با چشم دیگر به صفحه ی میکروسکوپ نگاه کنید تا هر دو واضح دیده شوند و گرنه ممکن است چشم به تدریج خراب شود.

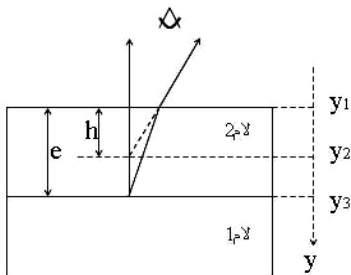
الف) اندازه گیری شاخص شکست شیشه ی نازک

۱. دو لام تمیز انتخاب کرده، روی یکی چند خط طولی و روی دیگری چند خط عرضی رسم کنید. برای آن که طرف خط کشی شده ی لام ها را اشتباه نگیرید، بهتر است در روی طرفی که خط کشیده اید، علامتی بگذارید (مثلاً در کناره ی لام بنویسید up) این دو لام را زیر میکروسکوپ به گونه ای قرار دهید که طرف خط کشی شده ی آن ها به طرف بالا باشد و لام زیرین دارای خطوط طولی باشد. بهتر است از شیئی $10\times$ استفاده کنید.
۲. به کمک پیچ اصلی خطوط عرضی (مربوط به لام رویی) را کانونی کنید و در صورت لزوم به کمک پیچ هایی که صفحه ی میکروسکوپ را حرکت می دهند، قسمتی از خطوط عرضی را در میدان دید قرار دهید که به اندازه ی کافی باریک و واضح باشد. آن گاه به کمک پیچ اصلی میکروسکوپ سعی کنید خطوط طولی (مربوط به لام زیرین) را کانونی کنید. چنان چه خط طولی در میدان دید قرار نداشت، تنها به کمک پیچی که صفحه ی میکروسکوپ را به چپ و راست می برد، خط طولی مناسبی در میدان دید قرار دهید. اکنون باید وضعیت به گونه ای باشد که با بالا و پایین بردن پایه ی میکروسکوپ بتوان یک بار خطوط عرضی و یک بار

خطوط طولی را مشاهده کرد. میکروسکوپ را در وضعیتی قرار دهید که خطوط عرضی، واضح دیده شوند. از این به بعد دقت کنید که به پیچ اصلی هرگز دست نزنید.

۳. به کمک پیچ میکرومتری، تصویر خطوط عرضی را به بیشترین وضوح برسانید. عددی را که میکرومتر نشان می‌دهد، در جدول ۱ یادداشت کنید

$$(y_1 = \alpha_1)$$



شکل ۳

۴. با پیچاندن پیچ میکرومتری، پایه‌ی میکروسکوپ را بالا ببرید. این عمل را به آرامی ادامه دهید تا خطوط طولی مربوط به لام زیرین واضح شوند. تعداد دفعاتی که صفر پیچ میکرومتری از مقابل علامت مخصوص خواندن

درجه‌ها می‌گذرد را در جدول ۱ یادداشت کنید (m). دقت کنید که از پیچی استفاده کنید که همگام با حرکت پایه‌ی میکروسکوپ، آن پیچ در جهت مثبت بچرخد. اگر پیچ میکرومتری در جهت کاهش درجات آن بچرخد، تعداد دورها را باید با علامت منفی ثبت کنید. اگر درجه‌ای که حال از روی پیچ میکرومتری قرائت می‌کنید α_2 باشد، به کمک رابطه‌ی $y_2 = mp + \alpha_2$ وضعیت جدید میکروسکوپ را به دست آورید و مقدار α_2 را در جدول ۱ یادداشت کنید. دقت کنید که p تعداد درجه‌ها در هر دور پیچ میکرومتری است. مقدار p را از روی درجه میکروسکوپ بخوانید و در بالای جدول ۱ یادداشت کنید.

۵. لام رویی را به آرامی بردارید. مشاهده خواهید کرد که تصویر خطوط طولی مربوط به لام زیرین دیگر واضح نیستند. با ادامه‌ی چرخش پیچ میکرومتری، این خطوط را دوباره به بیشترین وضوح خود برسانید. اگر تعداد کل دورهایی که پیچ میکرومتری از ابتدا تاکنون چرخیده است M و درجه‌ی کنونی α_3 باشد، داریم: $y_3 = Mp + \alpha_3$. مقدار M و α_3 را در جدول ۱ یادداشت کنید.

۶. مطابق شکل ۳، اگر e ضخامت لام رویی باشد داریم: $e = y_1 - y_3$ و اگر h تغییر محل میکروسکوپ از y_2 به y_1 باشد داریم: $h = y_1 - y_2$ ، می‌توان ثابت کرد:

$$n = \frac{y_1 - y_3}{y_1 - y_2} \quad (4)$$

ضریب شکست لام شیشه‌ای را به کمک رابطه‌ی بالا محاسبه کنید و در جدول ۱ ثبت کنید.

۷. آزمایش را دو بار دیگر تکرار کنید و داده‌ها را در جدول ۱ یادداشت کنید.

۸. میانگین $\bar{n}$ و خطای مطلق و نسبی آن را محاسبه و در جدول ۱ گزارش نمایید.

دور/درجه $p =$			
α_1			
m			
α_2			
M			
α_3			
y_2			
y_3			
n			
$\bar{n} = \dots \pm \dots, \quad \frac{\Delta n}{n} = \dots \%$			

ب) کالیبره کردن میکروسکوپ

۱. به کمک اطلاعات جدول ۱، $y_1 - y_3$ و خطای آن را به دست آورید:

$$\overline{y_1 - y_3} = \dots, \quad \Delta(\overline{y_1 - y_3}) = \dots$$

۲. به کمک ریزسنج، ضخامت لام رویی را اندازه بگیرید و به همراه خطای آن یادداشت کنید:

$$e = \dots \text{mm}, \quad \Delta e = \dots \text{mm}$$

۳. به کمک دو مقدار $\overline{y_1 - y_3}$ و e تعیین کنید که هر دور پیچ میکرومتری، میکروسکوپ را چقدر جابجا می کند و خطای مطلق و نسبی آن را بیابید.

به پرسش های زیر پاسخ دهید:

۱- آیا استفاده از میکروسکوپ برای تعیین n به خاطر بزرگنمایی آن بود؟

۲- چرا با وجود ثابت بودن n ، معمولاً افراد گروه عددهای یکسانی برای $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, m$ و M به دست نمی آورند؟

۳- با حرکت پیچ اصلی میکروسکوپ، پیچ میکرومتری هم حرکت می کند، آیا این امر موجب خطا در آزمایش نمی شود؟ چرا؟

۴- رابطه ی ۳ را اثبات کنید.

آزمایش شماره (۸)

بیناب‌نما

هدف:

آشنایی با طرز کار بیناب‌نما، مشاهده‌ی طیف عنصرهای مختلف و مدرج کردن بیناب‌نما بر حسب طول موج

زمینه‌ی نظری:

هر گاه نوری بر وجهی از یک منشور شیشه‌ای بتابد، به واسطه‌ی آن که نما شکست n تابع طول موج λ است، رنگ‌های تشکیل دهنده‌ی نور فرودی بر حسب طول موج، تحت زوایای مختلفی شکست یافته و در حقیقت نور اولیه به رنگ‌های تشکیل دهنده‌ی آن تجزیه می‌شود. اگر پرده‌ای در مقابل وجه دیگر منشور قرار دهیم، می‌توانیم بیناب نورهای تشکیل دهنده‌ی نور مرکب اولیه را مشاهده کنیم. از این پدیده در تشخیص عناصر تشکیل دهنده‌ی مواد و نیز در تشخیص عناصر تشکیل دهنده‌ی ستاره‌ها، اندازه‌گیری سرعت کهکشان‌ها و بالاخره در اندازه‌گیری تجربی مربوط به ترازهای انرژی در اتم‌ها و ملکول‌ها استفاده می‌شود.

وسایل مورد نیاز:

بیناب‌نما (اسپکتروسکوپ)، لامپ‌های طیفی یا اسپکترال (جیوه، هلیوم و...)، منبع تغذیه‌ی ولتاژ بالا یا بوبین رومکورف، لامپ مخصوص.

معرفی دستگاه بیناب‌نما: بیناب‌نما از بخش‌های زیر تشکیل شده است (شکل ۱):

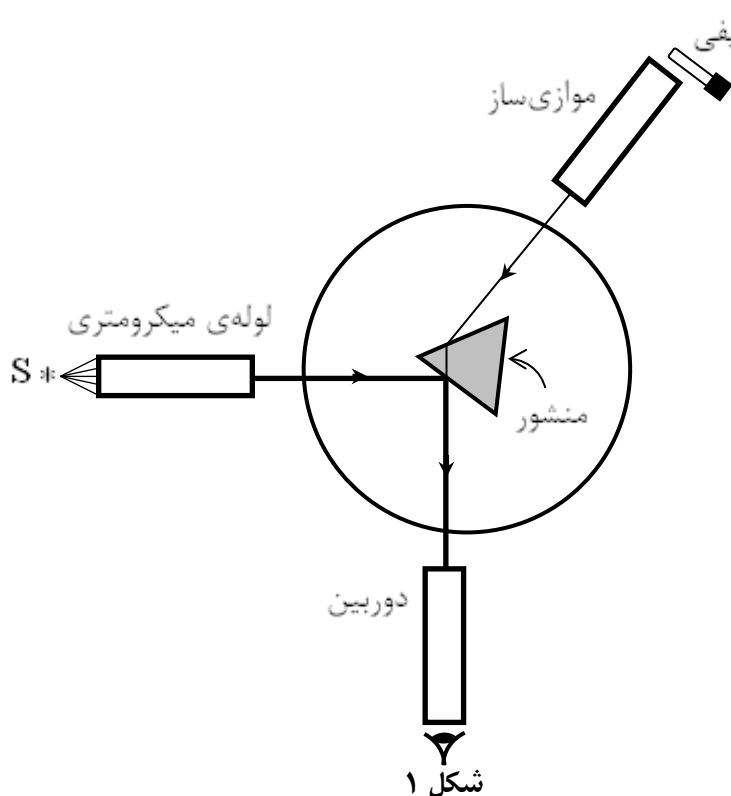
الف) موازی‌ساز (کولیماتور): لوله‌ای است که در یک انتهای آن شکاف قابل تنظیم و در انتهای آن یک عدسی همگرا قرار دارد به گونه‌ای که نور از شکاف به داخل موازی‌ساز وارد و به‌طور موازی از انتهای دیگر خارج می‌شود.

ب) منشور شیشه‌ای: این منشور که قاعده‌ی آن متساوی‌الاضلاع است، نور خارج شده از موازی‌ساز را تجزیه و به طرف دوربین می‌فرستد. این منشور برای پرتوهایی که از لوله‌ی میکرومتری گسیل می‌شوند، در حکم یک آینه است و آن پرتوها را به طرف دوربین بازتاب می‌کند.

پ) لوله‌ی میکرومتری: این بخش شامل عدسی کوژی بوده که در نزدیکی کانون این عدسی درون لوله، یک صفحه‌ی مدرج میکرومتری قرار دارد. این صفحه در اثر تابش نور چشمه‌ی S روشن شده و عدسی از این

صفحه‌ی مدرج یک تصویر در بی‌نهایت ایجاد می‌کند که پرتوهای حاصله به وجه منشور برخورد کرده و سپس به طرف دوربین بازتاب می‌گردند و در اصل یک زمینه‌ی مدرجی را برای استفاده از بیناب‌نما فراهم می‌سازد. **(ت دوربین):** از دو عدسی همگرا تشکیل شده است (شیئی و چشمی) که شیئی تصویر جسم را در کانون و سپس چشمی آن را بزرگ‌تر و واضح‌تر برای مشاهده‌ی ناظر تشکیل می‌دهد.

برای تنظیم بیناب‌نما ابتدا دوربین را برای فواصل خیلی دور تنظیم می‌کنند سپس با تنظیم محل عدسی



لوله‌ی میکرومتری، صفحه‌ی مدرج را به بیش‌ترین وضوح خود می‌رسانند. آن گاه محل عدسی موازی‌ساز را طوری تنظیم می‌کنند که خطوط بیناب (هنگامی که شکاف مربوط به قدر کافی باریک باشد) در نهایت وضوح ممکن دیده شوند. منشور را نیز معمولاً طوری تنظیم می‌کنند که در وضعیت مینیمم انحراف برای میانه‌ی طیف (معمولاً رنگ زرد یا سبز) باشد زیرا در این حالت دارای کم‌ترین عیب آستیگماتیسم (نانونقطه‌گرایی) خواهد بود.

بیناب‌نمای درون آزمایشگاه قبلاً تنظیم شده است لذا به تنظیم بیناب‌نما دست نزنید و با راهنمایی کارشناس آزمایشگاه، از دستگاه استفاده کنید.

روش انجام آزمایش:

۱. با کمک کارشناس آزمایشگاه لامپ هلیومی را که در اختیار دارید، روشن کرده و در مقابل شکاف موازی‌ساز قرار دهید. سپس در دوربین نگاه کنید و با حرکت دادن آن، بیناب را که از چند خط عمودی رنگی تشکیل شده است، در میدان دید خود پیدا کنید. پهنای شکاف را تا حد امکان کم کنید تا نوارهای رنگی بسیار نازک و متمایز گردند.
۲. با استفاده از چراغ مخصوص، نور مناسبی به انتهای لوله‌ی میکرومتری بتابانید تا در زمینه‌ی بیناب، اعداد و درجه‌های میکرومتر ظاهر شوند.
۳. موقعیت رنگ‌های بیناب را از روی درجه‌های میکرومتر خوانده و در جدول ۱ یادداشت کنید. سپس طول موج هر یک از آن‌ها را از روی تابلویی که در آزمایشگاه نصب شده یادداشت کنید.

۴. منحنی طول موج بیناب را بر حسب درجه میکرومتر روی یک کاغذ میلی متری با حداقل اندازه A4 (با انتخاب مبدأ و مقیاس مناسب) رسم کنید. توجه کنید که این منحنی خطی نیست.

درجه ی میکرومتر x	طول موج $\lambda(\text{\AA})$	رنگ

جدول ۱

۵. به جای لامپ هلیومی، به کمک کارشناس آزمایشگاه، لامپ کادمیوم قرار داده و موقعیت رنگ های آن را بر حسب درجه های میکرومتر یادداشت کنید و در جدول ۲ به ترتیب صعودی ثبت کنید (x_i). دقت هر یک از درجه ها را نیز یادداشت کنید (Δx).

۶. با استفاده از نموداری که در مرحله ی ۴ رسم کردید، طول موج مربوط به هر x_i لامپ کادمیوم را به دست آورید (λ تجربی) و در جدول ۲ ثبت کنید. طول موج همین خطوط را از روی تابلو نیز خوانده (λ تابلو) و در جدول ۲ ثبت نمایید.

رنگ	درجه ی میکرومتری	$\lambda(\text{\AA})$ تجربی	$\lambda(\text{\AA})$ تابلو	$\Delta\lambda(\text{\AA})$	$\Delta\lambda_0(\text{\AA})$

جدول ۲

۷. برای محاسبه $\Delta\lambda_i$ (خطای خواندن طول موج لامپ مجهول از نمودار) برای هر x_i به روش زیر عمل کنید:

الف) از x_i مورد نظر مقدار Δx را کم کنید ($x_i - \Delta x$).

ب) طول موج متناظر با عدد به دست آمده را به کمک نمودار به دست آورید ($\lambda_{(x_i - \Delta x)}$).

پ) چنان چه طول موج متناظر با خود x_i از روی نمودار $\lambda_{(x_i)}$ باشد، $\Delta\lambda_i$ برای x_i برابر خواهد بود با:

$$\Delta\lambda_i = |\lambda_{(x_i - \Delta x)} - \lambda_{(x_i)}|$$

با این روش، $\Delta\lambda_i$ را برای تمام خطوط کادمیوم به دست آورید و در جدول ۲ ثبت کنید.

۸. قدر مطلق اختلاف بین λ تجربی و λ تابلو را برای هر رنگ لامپ کادمیوم به دست آورید ($\Delta\lambda_0$) و در جدول ۲ ثبت نمایید.
۹. $\Delta\lambda$ و $\Delta\lambda_0$ را برای x_i های مختلف با هم مقایسه کنید.
۱۰. نسبت به نتایج به دست آمده و عوامل خطا بحث کنید.

به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

- ۱- آیا مهم است که درجه‌های خوانده شده درون دوربین (در حالت میکرومتری) دارای چه واحدی باشند؟
- ۲- چنان چه در آزمایشی $\Delta\lambda_0 > \Delta\lambda$ گردید، درباره دقت آن آزمایش و درستی نتایج آن، چه نظری خواهید داشت؟ چرا؟

آزمایش شماره (۹)

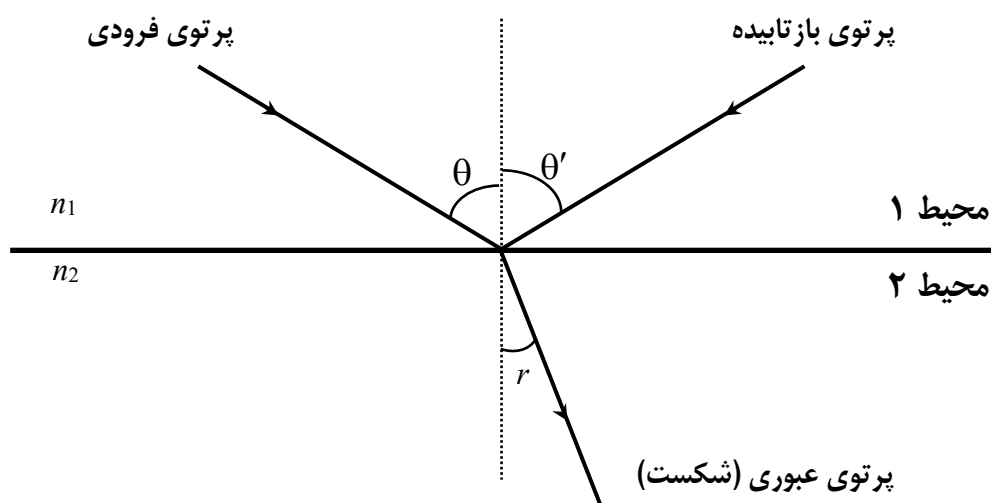
نور هندسی

هدف:

بررسی بازتاب و شکست نور و خواص آن‌ها در آینه‌های تخت، دیوپترها و منشورها

زمینه‌ی نظری:

وقتی یک پرتو نور بر سطح مرزی دو محیط (مانند هوا و شیشه) فرود می‌آید، بخشی از انرژی آن بازتاب و بخشی دیگر شکست پیدا می‌کند و به محیط دوم وارد می‌شود (شکل ۱). زاویه‌ی خط عمود بر سطح مرزی در نقطه‌ی فرودی با پرتوی فرودی، پرتوی بازتابیده و پرتوی شکسته را به ترتیب، زاویه‌ی فرودی (θ) زاویه‌ی بازتاب (θ') و زاویه‌ی شکست (r) می‌نامند.



شکل ۱- بازتاب و شکست نور در سطح مرزی دو محیط

قوانین بازتاب و شکست به صورت زیر نوشته می‌شوند:

$$\theta = \theta' \quad (۱)$$

$$\frac{\sin \theta}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \quad (۲)$$

که در آن n شاخص (نمار یا ضریب) شکست نامیده می‌شود و n_{21} نسبت شاخص شکست محیط دوم به شاخص شکست محیط اول یا نسبت سرعت نور در محیط اول به سرعت نور در محیط دوم است.

اگر زاویه‌ی فرودی به گونه‌ای باشد که پرتوهای بازتابنده و شکست بر یکدیگر عمود باشند،

یعنی:

$$r + \theta' = \frac{\pi}{2} \quad (۳)$$

آن گاه با توجه به رابطه‌های ۱ و ۲ داریم:

$$\tan \theta = n_{21} \quad (۴)$$

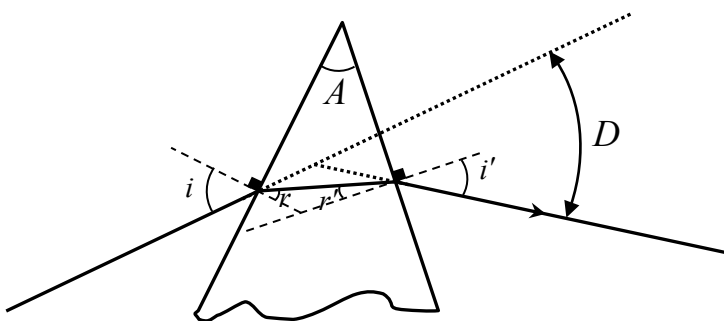
در این حالت، زاویه‌ی فرودی به زاویه‌ی بروستر موسوم است و آن را با θ_B نشان می‌دهند. اگر یک پرتوی طبیعی (ناقطبیده) تحت زاویه‌ی بروستر روی سطح مرزی دو محیط فرود آید، پرتوی بازتابیده، صددرصد قطبیده است (ولی شدت آن کم است) و پرتوی عبور یافته، به طور جزئی قطبیده است که با تکرار این عمل، پرتوی نهایی عبور یافته نیز با تقریب خوبی قطبیده خواهد بود (ولی شدت آن نصف شدت منبع است). به این روش



شکل ۲

پلاریزاسیون با انبوه تیغه‌ها و به هر یک از آن تیغه‌های متوازی‌السطوح، دریچه‌ی بروستر گویند (شکل ۲).

شاخص شکست منشورها را معمولاً از روش کمینه‌ی زاویه‌ی انحراف، اندازه‌گیری می‌کنند



شکل ۳

(شکل ۳). زاویه‌ی انحراف (D)، زاویه‌ی میان راستای پرتوی فرودی و پرتوی خروجی از منشور است. اگر رابطه‌ی ۲ را برای هر دو رخ منشور بنویسیم، با توجه به هندسه‌ی مسیر نور درون منشور و خارج آن، می‌توان ثابت کرد که در حالت کمینه‌ی زاویه‌ی انحراف داریم:

$$n_{21} = \frac{\sin\left(\frac{A + D_m}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)} \quad (۵)$$

که در آن A و D_m به ترتیب کمینه‌ی زاویه‌ی انحراف و زاویه‌ی رأس منشور هستند.

وسایل مورد نیاز:

آینه‌ی تخت، تیغه شیشه‌ای، دیوپتر نیم‌دایره‌ای، صفحه‌ی گردان مدرج، چراغ با حباب و پایه (چشمه‌ی نور)، صفحه‌ی شکاف‌دار، سنجاق، خط‌کش، منشور.

روش انجام آزمایش:

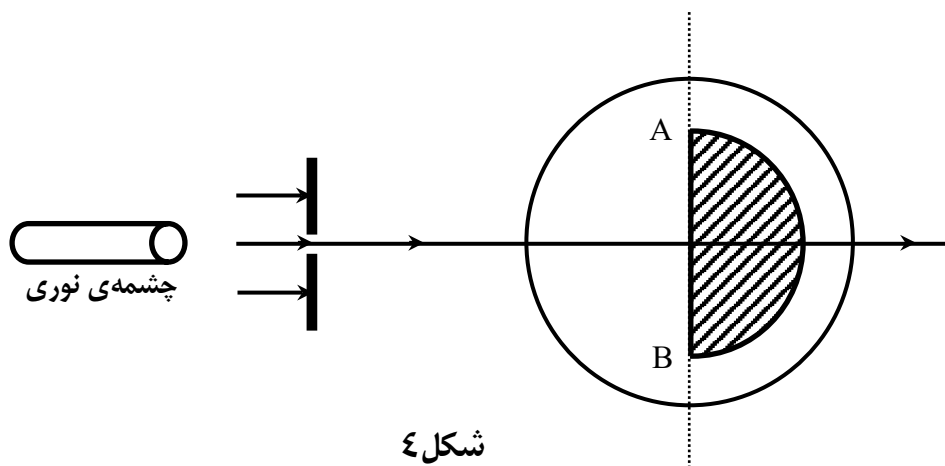
۱. آینه‌ی تختی که در اختیار دارید را به‌گونه‌ای روی صفحه مدرج قرار دهید که لبه‌ی سطح بازتابنده آن در مرکز صفحه‌ی مدرج و بر یکی از دو قطر این صفحه منطبق شود. چشمه‌ی نور را روشن کنید و شکاف باریک را مقابل آن قرار دهید. چشمه‌ی نور را به‌گونه‌ای میزان کنید که پرتوی نور به حد کافی باریک شود و از مرکز صفحه‌ی گردان بگذرد. زاویه‌ی فرودی را برابر ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درجه انتخاب کنید و زاویه‌ی بازتاب را در هر حالت اندازه بگیرید. آیا زوایای فرودی و بازتاب با هم برابرند؟

۲. آینه‌ی تخت را مانند آزمایش مرحله ۱ روی صفحه‌ی مدرج قرار دهید و زاویه‌ی فرودی را روی ۱۵ درجه تنظیم کنید. سپس آینه را به اندازه‌ی ۲۰ درجه بچرخانید. پرتوی بازتابیده چند درجه می‌چرخد؟ این آزمایش را برای زاویه‌ی چرخش ۳۰ درجه دوباره انجام دهید و نتیجه را یادداشت نمایید.

۳. دو آینه‌ی تخت عمود بر هم، روی میز قرار دهید. یک جسم بین این دو آینه قرار دهید و تعداد تصاویر تشکیل یافته را بشمارید. زاویه‌ی دو آینه را به ۶۰ و ۳۰ درجه تغییر دهید و دوباره تعداد تصاویر تشکیل یافته را شمارش کنید. با رسم آینه‌ها و پرتوهای فرودی و بازتابی روی یک کاغذ میلی‌متری، محل تصاویر تشکیل یافته در هر سه زاویه‌ی ۹۰، ۶۰ و ۳۰ درجه را روی کاغذ میلی‌متری رسم نمایید. رابطه‌ی ریاضی بین زاویه بین دو آینه و تعداد تصاویر تشکیل شده در آنها پیدا کنید.

۴. دیوپتر نیم‌دایره‌ای را روی صفحه‌ی مدرج گردان به‌گونه‌ای قرار دهید که مرکز آن بر مرکز صفحه و قطر AB آن بر قطر صفحه، منطبق باشد. چشمه‌ی نور همراه با شکاف آن را به‌گونه‌ای میزان کنید که یک پرتو باریک ایجاد شده و در مرکز صفحه‌ی گردان بر دیوپتر نیم‌دایره فرود آید. سپس صفحه‌ی گردان را بچرخانید تا زاویه‌ی فرودی صفر شود (شکل ۴). دیده می‌شود که در این صورت پرتو بدون انحراف از دیوپتر خارج می‌شود. زاویه‌ی فرودی را تغییر دهید. مشاهده می‌کنید که پرتو خروجی منحرف می‌شود. برای زوایای فرودی ۰، ۱۰، ۲۰، ... و ۸۰ درجه، زوایای شکست را اندازه‌گیری کنید و در جدول ۱ ثبت نمایید. با رسم نمودار $\sin \theta$ بر حسب $\sin r$ روی کاغذ میلی‌متری و استفاده از رابطه ۲ و اندازه‌گیری

شیب خط رسم شده، شاخص شکست دیوپتر نیم‌دایره‌ای را محاسبه کنید و خطای مطلق و نسبی آن را نیز به‌دست آورید.



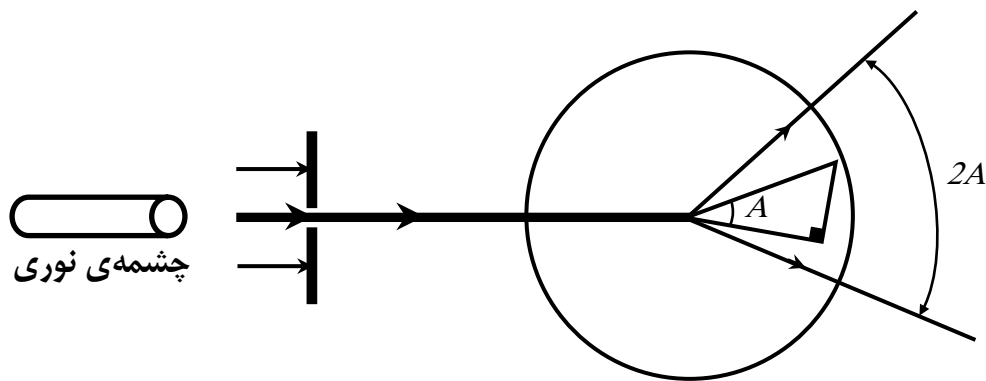
θ	0	10	20	30	40	50	60	70	80
r									
$\sin \theta$									
$\sin r$									

جدول ۱

۵. مشابه شکل ۴، دیوپتر نیم‌دایره‌ای را روی صفحه‌ی گردان قرار دهید و زاویه‌ی فرودی را به‌گونه‌ای میزان کنید که پرتوهای بازتابیده و شکست بر هم عمود باشند. زاویه‌ی فرودی در این حالت زاویه‌ی بروس‌تر نام دارد. این زاویه را اندازه‌گیری کنید و از رابطه‌ی ۴، شاخص شکست دیوپتر نیم‌دایره‌ای و خطای مطلق و نسبی آن را به‌دست آورید. این مقدار را با مقداری که در مرحله ۴ به‌دست آورده‌اید، مقایسه نمایید.

با قرار دادن یک تیغه‌ی پلاروید، و نگاه کردن در آن، قطبیدگی پرتوهای فرودی، بازتابی و شکستی را بررسی کنید.

۶. یک تیغه‌ی منشوری را مطابق شکل ۵ روی صفحه‌ی گردان به‌گونه‌ای قرار دهید که زاویه‌ی رأس آن به مرکز صفحه‌ی گردان نزدیک باشد. زاویه‌ی میان دو پرتوی بازتابیده از دو رخ منشور یعنی $2A$ را اندازه‌گیری کنید و از آن جا، زاویه‌ی رأس منشور A و خطای آن را به‌دست آورید.

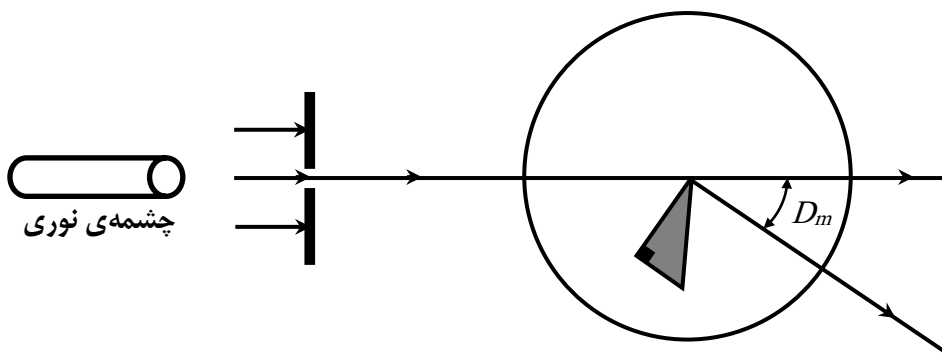


شکل ۵

۷. همان منشور بخش ۶ را روی صفحه‌ی گردان به گونه‌ای قرار دهید که رأس منشور نزدیک به مرکز صفحه باشد و پرتو باریک نور مانند شکل ۶ روی آن فرود آورید. اگر صفحه گردان را بگردانید، می‌بینید که زاویه‌ی پرتوی خروجی با پرتوی فرودی (زاویه انحراف) تغییر می‌کند ولی هرگز از یک مقدار معین کم‌تر نمی‌شود. یعنی برای مقدار معینی از زاویه‌ی فرودی، زاویه‌ی انحراف دارای کمینه‌ای است که آن را کمینه‌ی زاویه‌ی انحراف منشور می‌نامند (D_m)؛ این زاویه را اندازه‌گیری کنید و شاخص شکست منشور و خطای آن را از رابطه‌ی ۵، محاسبه کنید. خطای نسبی شاخص شکست را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{1}{2}(\Delta A + \Delta D_m) \cot\left(\frac{A + D_m}{2}\right) + \frac{1}{2}\Delta A \cot\left(\frac{A}{2}\right) \quad (۶)$$

توجه داشته باشید که خطای اندازه‌گیری زاویه‌ها در همه فرمول‌ها باید بر حسب رادیان بیان شود.



شکل ۶

به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

- ۱- چرا وقتی پرتوی فرودی ثابت نگه داشته شود و آینه به اندازه‌ی زاویه‌ی θ بچرخد، پرتوی بازتابیده به اندازه‌ی 2θ می‌چرخد؟
- ۲- اجسامی که دیده می‌شوند، نور را کم و بیش بازتاب می‌کنند. چرا در بیش‌تر آن‌ها تصویر دیده نمی‌شود؟
- ۳- چرا در برخی از دستگاه‌های دقیق اندازه‌گیری، مانند گالوانومتر بالستیک، به جای عقربه از آینه‌هایی که می‌تواند بچرخد استفاده می‌شود؟
- ۴- از موارد عملی استفاده از بازتاب کلی چه می‌دانید؟
- ۵- درستی رابطه‌ی ۵ را نشان دهید و از آن، رابطه‌ی ۶ را به‌دست آورید.
- ۶- در آزمایش تعیین شاخص شکست به روش کمینه انحراف (قسمت ۶) چرا رأس منشور باید به مرکز صفحه‌ی گردان نزدیک باشد؟

آزمایش شماره (۱۰)

عدسی‌های محدب (همگرا) و مقعر (واگرا)

هدف:

اندازه‌گیری فاصله‌ی کانونی عدسی‌های محدب و مقعر

زمینه‌ی نظری:

عدسی‌ها، اجسام شفاف با دو سطح کروی‌اند که در اثر شکست نور در آن‌ها، از اشیاء مختلف تصویری حقیقی و یا مجازی تشکیل می‌دهند. عدسی‌ها بر دو گونه‌اند: محدب یا کوژ (همگرا) و مقعر یا کاو (واگرا). در عدسی‌ها، رابطه‌ی زیر برقرار است:

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{x'} = \frac{1}{f} \quad (۱)$$

x ، x' و f به ترتیب فاصله‌ی جسم و تصویر از عدسی و فاصله‌ی کانونی عدسی هستند. مقدار این فاصله‌ها در رابطه‌ی بالا، چنان‌چه جسم، تصویر و فاصله‌ی کانونی حقیقی باشند، مثبت و اگر مجازی باشند، منفی خواهند بود؛ مثلاً در عدسی واگرا که کانون و تصویر، هر دو مجازی هستند (به شرط آن که جسم حقیقی باشد، یعنی $x > 0$)، مقادیر f و x' هر دو منفی خواهند بود.

یکی از روش‌های اندازه‌گیری فاصله‌ی کانونی عدسی همگرا روش جابجایی است. همان‌گونه که می‌دانیم، رابطه‌ی ۱ برای عدسی‌ها نسبت به x و x' متقارن بوده و بنابراین می‌توان جای x و x' را در آن با یکدیگر عوض کرد. این کار بدین معنی است که بین محل جسم O و محل تشکیل تصویر آن I ، دو وضعیت «۱» و «۲» را می‌توان برای عدسی پیدا کرد که در آن دو وضعیت، تصویری از O در نقطه‌ی I تشکیل می‌شود (شکل ۱).

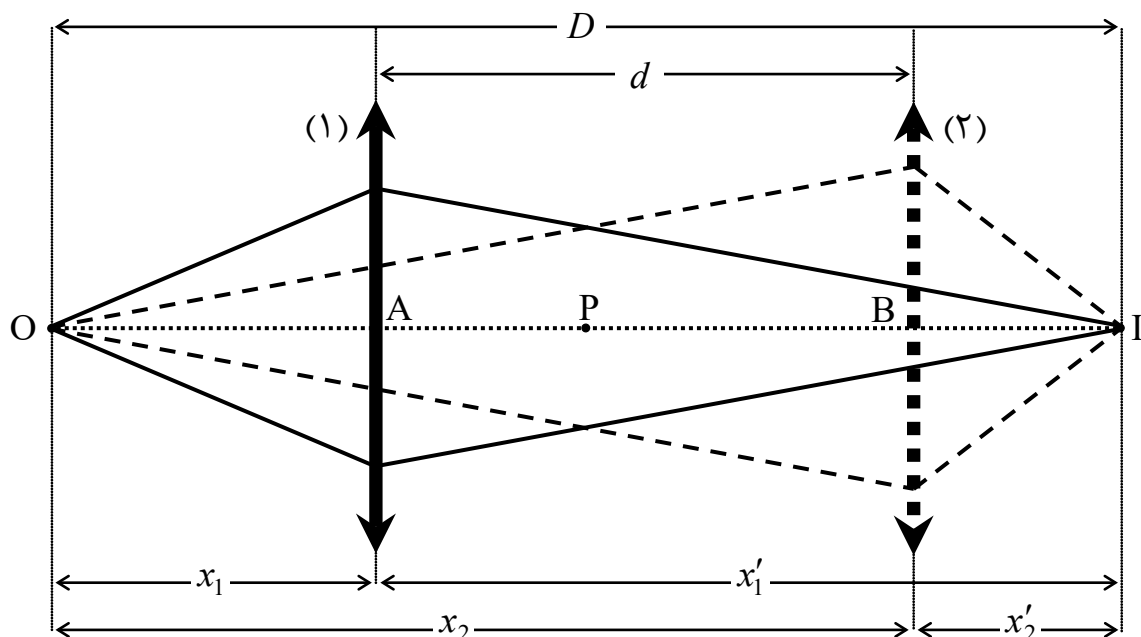
وقتی که عدسی در وضعیت «۱» است، داریم $x_1 = \overline{OA}$ و $x'_1 = \overline{AI}$ و در حالتی که در وضعیت «۲» باشد، داریم $x_2 = \overline{OB}$ و $x'_2 = \overline{BI}$ است. بدیهی است که $x_1 = x'_2$ و $x_2 = x'_1$. دو نقطه‌ی A و B را که عدسی به ترتیب در وضعیت‌های «۱» و «۲» در آن نقاط قرار گرفته است، نقاط مزدوج (Conjugate Points) می‌نامند. اگر $\overline{OI} = D$ و $\overline{AB} = d$ باشد، داریم:

$$d = x'_1 - x_1 \quad \text{و} \quad D = x'_1 + x_1 \quad (۲)$$

که به کمک رابطه‌ی کلی عدسی‌ها خواهیم داشت:

$$f = \frac{D^2 - d^2}{4D} \quad (۳)$$

همان گونه که دیده می شود، می توان با اندازه گیری D و d ، فاصله ی کانونی عدسی همگرا را به دست آورد.



شکل ۱

وسایل مورد نیاز:

چشمه ی نوری (جسم نورانی)، عدسی های همگرا و واگرا، آینه ی مقعر، پرده (صفحه ی مات)، خط کش، پایه ی نوری مدرج به همراه پایه های سوار شونده بر آن.

روش انجام آزمایش:

الف) اندازه گیری فاصله ی کانونی عدسی همگرا:

روش اول (نقاط مزدوج):

۱. جسم O را روی صفر پایه ی نوری تنظیم کنید و پرده را به فاصله ی D از جسم O قرار دهید.
۲. عدسی همگرا را بین جسم و پرده قرار داده و آن قدر جابجا کنید تا تصویر واضحی از جسم روی پرده پدیدار شود.
۳. جای پایه ی عدسی را یادداشت کنید (x_1). حال با ثابت نگه داشتن مکان جسم و پرده، عدسی را از مکان x_1 جابجا کنید تا دوباره تصویر واضحی از جسم روی پرده ایجاد شود. محل جدید عدسی را یادداشت کنید (x_2). فاصله ی کانونی عدسی، f ، را با محاسبه ی D و d استفاده از رابطه ی ۳ پیدا کنید. خطای مطلق و نسبی فاصله کانونی را هم بیابید.
۴. مراحل ۱ تا ۳ را یکبار دیگر تکرار کنید و مقدار میانگین $\bar{f}$ را به دست آورید. خطای مطلق و نسبی $\bar{f}$ را نیز محاسبه کنید.

روش دوم (رابطه عدسی‌ها):

عدسی همگرا را در فاصله‌های مختلف نسبت به جسم قرار داده و با جابجا کردن پرده، تصویری واضح از جسم روی پرده پدید آورید. x و x' را اندازه گرفته و در جدول ۱ یادداشت کنید. دقت کنید که مقدار x ‌های مختلف حداقل ۳ سانتیمتر از هم فاصله داشته باشند. حال با استفاده از رابطه‌ی کلی عدسی‌ها، فاصله‌ی کانونی f و خطای آن را در هر حالت آزمایش محاسبه کرده و در جدول ۱ ثبت نمایید. مقدار میانگین $\bar{f}$ را و خطای مطلق و نسبی $\bar{f}$ آن را نیز محاسبه کنید و در زیر جدول ۱ بنویسید.

$x \text{ (cm)}$						
$x' \text{ (cm)}$						
$1/x \text{ (cm}^{-1}\text{)}$						
$1/x' \text{ (cm}^{-1}\text{)}$						
$f \text{ (cm)}$						
$\Delta f \text{ (cm)}$						

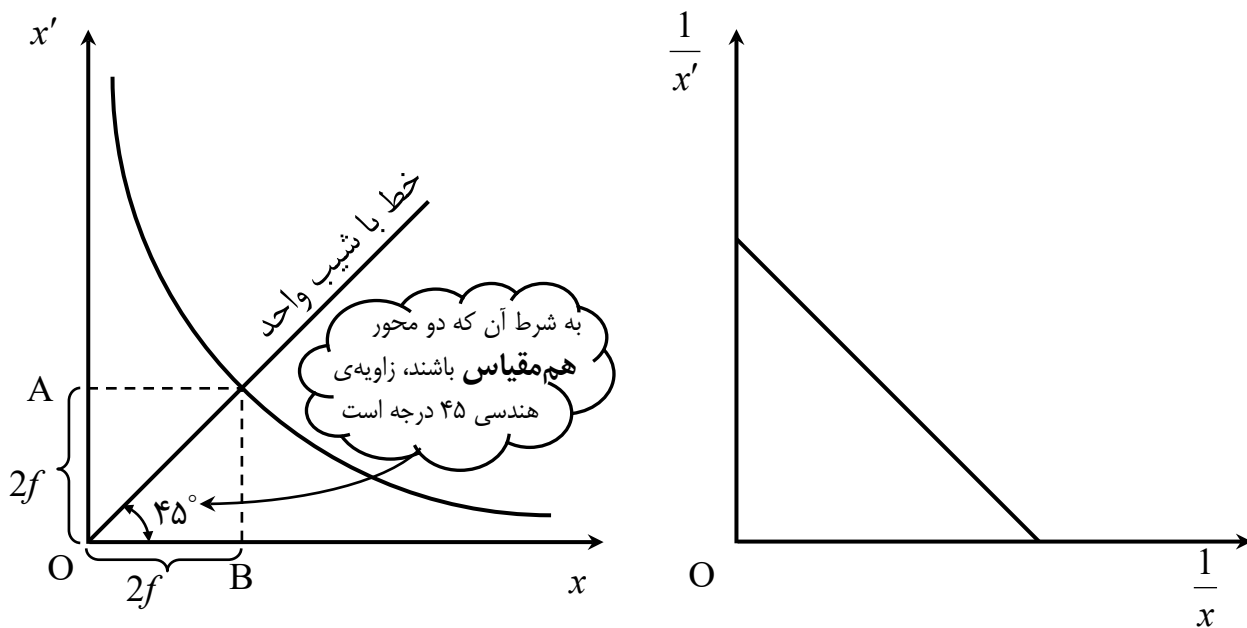
جدول ۱

$$\bar{f} = \dots\dots\dots \text{cm}, \quad \Delta \bar{f} = \dots\dots\dots \text{cm}, \quad \frac{\Delta \bar{f}}{\bar{f}} = \dots\dots\dots \%$$

روش سوم (رسم خط):

با استفاده از داده‌های جدول ۱، فاصله‌ی کانونی و خطای مطلق و نسبی آن را با دو روش: یکبار با رسم نمودارهای x' بر حسب x (شکل ۲ سمت چپ) و یکبار با رسم نمودارهای $1/x'$ بر حسب $1/x$ (شکل ۲ سمت راست) روی کاغذ میلیمتری به دست آورید. نمودار x' بر حسب x خطی نیست ولی اگر تقاطع این منحنی با خطی با شیب واحد را به دست آورید (شکل ۲ سمت چپ) می‌توانید f و خطای آن را به دست آورید. توجه کنید که در شکل ۲ سمت چپ، در صورتی اندازه‌های OA و OB برابر $2f$ است که هر دو محور x' و x هم‌مقیاس باشند و از مبدأ یکسانی شروع شده باشند.

نمودار $1/x'$ بر حسب $1/x$ خطی است (شکل ۲ سمت راست). فرمول کلی رابطه خط به صورت $\frac{1}{x'} = \frac{b}{x} + \frac{1}{f}$ است. دقت کنید که شیب نمودار $1/x'$ بر حسب $1/x$ ، یعنی b ، ممکن است ۱- نباشد و مقدار دقیق آن را باید با محاسبه شیب نمودار رسم شده به دست آورید. بنابراین برای محاسبه f ابتدا باید b و خطای آن را محاسبه کنید، سپس عرض از مبدأ نمودار و خطای آن را محاسبه کنید و در نهایت با کمک گرفتن از عرض از مبدأ، f و خطای مطلق و نسبی آن را به دست آورید.



شکل ۲

ب) اندازه‌گیری فاصله‌ی کانونی عدسی و اگر:

۱. مانند بخش بالایی شکل ۳ چشمه نور (جسم O) را روی محور یک آینه‌ی مقعر، M، قرار دهید. چشمه را آن قدر جابجا کنید تا تصویر واضحی از آن در کنار خود چشمه، در نقطه‌ی C، تشکیل شود. در این حالت نقطه C مرکز انحنای آینه‌ی مقعر است. مکان C و M را در بالای جدول ۲ یادداشت کنید.

۲. بدون اینکه مکان آینه مقعر M را تغییر دهید، چشمه نور O را چند سانتی‌متر به عقب ببرید. عدسی و اگرای L را بین چشمه و آینه مقعر M قرار دهید. مانند بخش پایینی شکل ۳ عدسی L را آن قدر حرکت دهید تا دوباره تصویری واضح در کنار چشمه O دیده شود. این تصویر در حالت کلی در سه وضعیت ممکن است تشکیل شود:

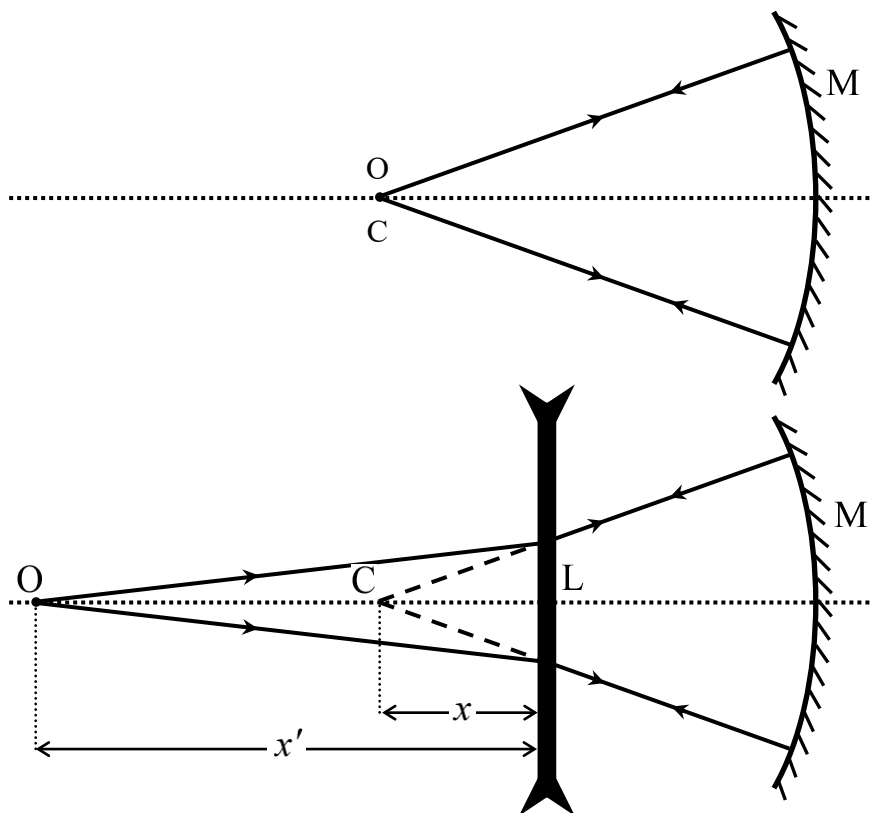
الف) پرتوها به عدسی برخورد کرده و آن قسمت از پرتوها که از سطح جلویی عدسی بازتاب می‌گردند این تصویر را به وجود آورده باشند. در این حالت اگر ورقه‌ی کاغذی بین آینه‌ی M و عدسی L قرار دهید تصویر محو نمی‌گردد. این تصویر، تصویر مورد نظر ما نیست.

ب) پرتوها به عدسی برخورد کرده، پس از عبور از آن بر سطح آینه فرود آمده ولی در بازتاب از سطح آینه، بدون عبور از داخل عدسی، به پرده رسیده و این تصویر را در کنار جسم به وجود آورده باشند. در این حالت چنان چه دست یا جسم کدری را در کنار قاب عدسی قرار دهیم، تصویر محو می‌گردد. این تصویر نیز تصویر مورد نظر ما نیست.

(پ) پرتوها از داخل عدسی L عبور کرده پس از بازتاب از سطح آینه M ، دوباره از داخل عدسی L گذشته و به محل چشمه O رسیده و این تصویر را به وجود آورده باشند. این تصویر، تصویر مورد نظر ماست.

وقتی **وضعیت (پ) برقرار گردید** و تصویر نهایی در کنار چشمه O به صورت واضح تشکیل گردید، مکان عدسی L و چشمه O را در جدول ۲ یادداشت کنید. در این حالت وضعیت را به دو گونه می‌توان توجیه کرد:

- عدسی L از پرتوهایی که از جسم O واگرا شده‌اند (جسم حقیقی است) تصویری مجازی در C تشکیل می‌دهد. چنان چه C در مرکز آینه باشد، پرتوها پس از برخورد با آینه بر روی خود بازتاب شده و از روی مسیر قبلی خود بازمی‌گردند. در هنگامی که تصویر نهایی روی پرده می‌افتد، می‌فهمیم که مرکز آینه در محل تصویر مجازی است.
- پرتوهایی که از آینه بازتاب شده و تمایل دارند در C جمع شوند (پرتوهای همگرا)، حکم یک جسم مجازی را دارند. عدسی از این شیئی مجازی تصویری حقیقی روی پرده تشکیل داده است.



شکل ۳

۳. بدون اینکه مکان آینه مقعر M را تغییر دهید بخش قبلی را پنج بار دیگر تکرار کنید. بدین صورت که هر بار چشمه O را حدود ۵ سانتیمتر از آینه M دورتر کنید و محل چشمه O و عدسی L را وقتی تصویر در کنار چشمه O واضح می شود در جدول ۲ یادداشت کنید. با استفاده از رابطه $x = -|\overline{CL}|$ و $x' = |\overline{OL}|$ مقدار x و x' و وارون آنها را محاسبه کنید و در جدول ۲ بنویسید.

$$M = \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots \text{cm}$$

$$C = \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots \text{cm}$$

محل چشمه O						
محل عدسی L						
$x = - \overline{CL} $						
$x' = \overline{OL} $						
$1/x \text{ (cm}^{-1}\text{)}$						
$1/x' \text{ (cm}^{-1}\text{)}$						

جدول ۲

۴. با رسم نمودار $\frac{1}{x'}$ بر حسب $\frac{1}{x}$ روی کاغذ میلیمتری و استفاده از رابطه $\frac{1}{x'} = \frac{b}{x} + \frac{1}{f}$ ، فاصله‌ی کانونی عدسی واگرا و خطای مطلق و نسبی آن را به دست آورید. برای این کار دقت کنید که نخست شیب نمودار b و خطای آن و سپس عرض از مبدا نمودار $(\frac{1}{f})$ و خطای آن را محاسبه کنید. در نهایت f عدسی واگرا و خطای مطلق و نسبی آن را از روی عرض از مبدا نمودار به دست آورید. دقت کنید که مبدأ و مقیاس را به گونه‌ای انتخاب کنید که نقاط آزمایش در تمام کاغذ میلیمتری به صورت یکنواخت توزیع شوند. نیازی نیست که مبدا مختصات (۰ و ۰) باشد.

به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

- ۱- به کمک روابط ۱ و ۲، رابطه‌ی ۳ را اثبات کنید.
- ۲- نسبت اندازه‌ی دو تصویر مربوط به دو نقطه‌ی مزدوج را بر حسب D و d به دست آورید.
- ۳- در شکل ۲، چرا $\overline{OA} = \overline{OB} = 2f$ است؟
- ۴- در قسمت «ب» (آزمایش عدسی واگرا)، الف) نقش آینه‌ی واگرا را توضیح دهید. ب) آیا در اندازه‌ی فاصله‌ی کانونی آینه‌ی واگرا، محدودیتی وجود دارد؟ توضیح دهید.

آزمایش شماره (۱۱)

آینه‌های محدب و مقعر

هدف:

اندازه‌گیری فاصله‌ی کانونی آینه‌های محدب و مقعر و تعیین بزرگ‌نمایی آن‌ها

زمینه‌ی نظری:

آینه‌ی کروی معمولاً از یک قطعه شیشه‌ی نقره‌اندود ساخته می‌شود که بخشی از یک سطح کروی توخالی را تشکیل می‌دهد. اگر طرف بیرونی این سطح نقره‌اندود شده باشد، طرف داخلی آن که مقعر است، صیقلی بوده و نور را بازتاب می‌کند؛ در این صورت آینه را مقعر یا کاو گویند. چنان چه طرف درونی این سطح نقره‌اندود باشد، طرف بیرونی آن که محدب است، نور را بازتاب خواهد کرد؛ در این حالت آینه را محدب یا کوژ می‌نامند. این آینه‌ها قادرند که از اجسام، تصاویر حقیقی یا مجازی تشکیل دهند. تصویر حقیقی ناشی از پرتوهای همگرا است و روی پرده تشکیل می‌شود، حال آن که تصویر مجازی ناشی از پرتوهای واگراست. البته خود اجسام نیز می‌توانند حقیقی یا مجازی باشند. در آینه‌های محدب و مقعر، رابطه‌ی زیر بین فاصله‌ی کانونی آینه (f) ، فاصله‌ی جسم از رأس آینه (x) و فاصله‌ی تصویر از رأس (x') آن برقرار است:

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{x'} = \frac{1}{f} \quad (۱)$$

از رابطه‌ی ۱، با دانستن مقادیر x و x' می‌توان فاصله‌ی کانونی آینه را محاسبه کرد. باید در نظر داشت که هر گاه جسم، تصویر و فاصله‌ی کانونی حقیقی باشند، مقادیر مربوط به x ، x' و f مثبت و اگر مجازی باشند مقادیر مربوطه در رابطه‌ی ۱، منفی خواهند بود.

وسایل مورد نیاز:

چشمه‌ی نوری (جسم نورانی)، آینه‌های محدب و مقعر، عدسی همگرا، پرده (صفحه‌ی مات)، خط‌کش، پایه‌ی نوری مدرج به همراه پایه‌های سوار شونده بر آن.

روش انجام آزمایش:

الف) اندازه‌گیری فاصله‌ی کانونی آینه‌ی محدب:

۱. جسم O (چشمه‌ی نور) را روی صفر پایه‌ی نوری قرار داده و پرده یا صفحه‌ی مات را حتی‌الامکان در بیش‌ترین فاصله از آن قرار دهید.

۲. عدسی همگرای L را بین جسم O و پرده قرار دهید (شکل ۱) و آن را از نزدیکی جسم به سمت پرده جابجا کنید تا تصویر حقیقی و واضح I روی پرده دیده شود. محل تصویر را یادداشت کنید.

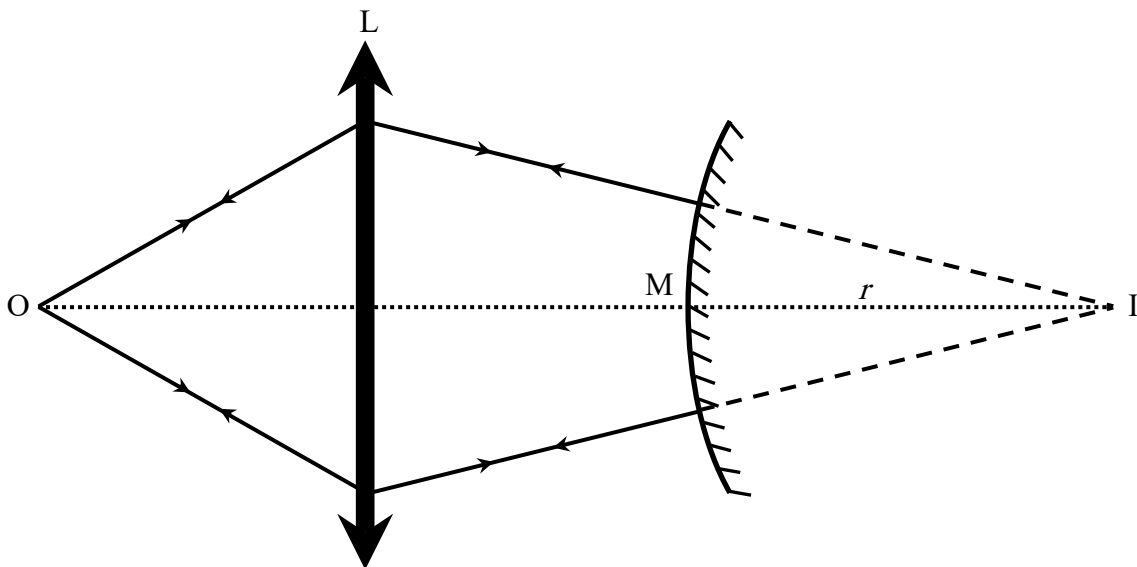
۳. حال آینه‌ی محدب، که می‌خواهید فاصله کانونی آن را تعیین کنید، بین عدسی L و تصویر I قرار دهید و آینه را آن قدر جابجا کنید تا تصویر واضحی بر روی جسم O تشکیل شود (اگر چنین وضعیتی پیش نیاید احتمالاً فاصله‌ی عدسی تا I از شعاع آینه‌ی مورد استفاده کم‌تر است و باید با کم کردن فاصله‌ی عدسی تا چشمه، این مشکل را رفع کرد). در این حالت محل آینه یعنی M را یادداشت کنید. بدیهی است در این وضعیت، پرتوهایی که از O گسیل می‌شوند، پس از عبور از عدسی به طور عمود، بر سطح آینه‌ی M فرود می‌آیند و بنابراین مرکز انحنای آینه‌ی M باید در نقطه‌ی I باشد (شکل ۱) و داریم:

$$R = \overline{MI} \Rightarrow f = -\frac{R}{2} = -\frac{\overline{MI}}{2} \quad (۲)$$

در نتیجه فاصله‌ی کانونی آینه برابر با $-\frac{1}{2}(\overline{MI})$ است.

۴. این آزمایش را دو بار دیگر تکرار کنید و هر بار فاصله‌ی OL را تغییر داده و فاصله کانونی آینه را به دست آورید. مقدار متوسط فاصله‌ی کانونی آینه‌ی محدب برای هر سه اندازه‌گیری را به دست آورید و خطای مطلق و نسبی آن را حساب کنید:

$$\overline{f} = \dots\dots\dots \text{cm}, \quad \Delta \overline{f} = \dots\dots\dots \text{cm}, \quad \frac{\Delta \overline{f}}{\overline{f}} = \dots\dots\dots \%$$



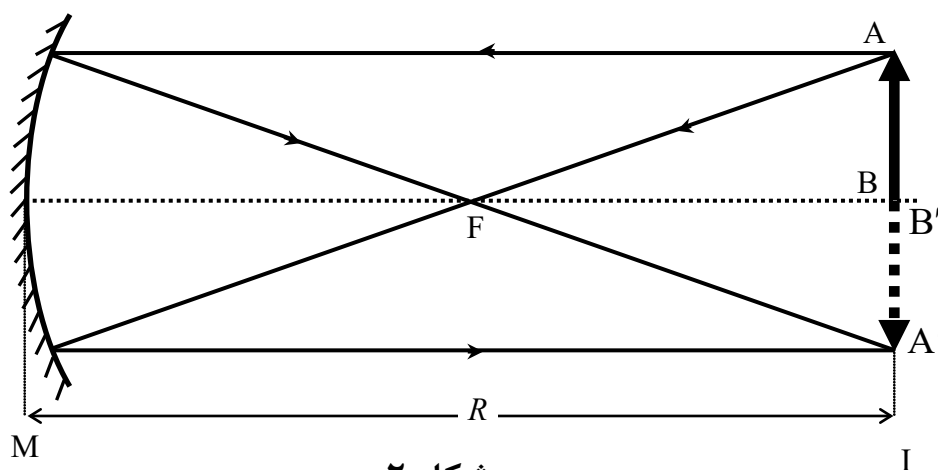
شکل ۱

(ب) اندازه‌گیری فاصله‌ی کانونی آینه‌ی مقعر:**روش اول (شعاع آینه):**

۱. روی پایه نوری، چشمه‌ی نوری (جسم) را سوار کرده و جلوی آن آینه‌ی مقعری که می‌خواهید فاصله کانونی آن را اندازه بگیرید، قرار دهید.

۲. با جابجا کردن آینه، تصویر چشمه، I، را در کنار خودش روی یک صفحه‌ی مات تشکیل دهید (شکل ۲). در این حالت جسم و تصویر آن در یک راستا هستند و جسم در مرکز آینه‌ی مقعر قرار دارد. بنابراین فاصله‌ی جسم تا آینه برابر با شعاع آینه‌ی مقعر یا دو برابر فاصله‌ی کانونی آن است. محل آینه‌ی M و تصویر I را یادداشت کنید و فاصله‌ی کانونی آینه‌ی مقعر و خطای مطلق و نسبی آن را به‌دست آورید:

$$R = \overline{MI} \Rightarrow f = \frac{R}{2} = \frac{\overline{MI}}{2} \quad (۳)$$



شکل ۲

۳. مراحل ۱ و ۲ را یکبار دیگر انجام دهید و با میانگین گرفتن از نتایج، فاصله‌ی کانونی آینه‌ی مقعر، $\bar{f}$ ، و خطای مطلق و نسبی آن را به‌دست آورید:

$$\bar{f} = \dots\dots\dots cm, \quad \Delta \bar{f} = \dots\dots\dots cm, \quad \frac{\Delta \bar{f}}{\bar{f}} = \dots\dots\dots \%$$

روش دوم (رابطه آینه‌ها):

۱. آینه‌ی مقعر را به فاصله‌ای دلخواه در جلوی چشمه‌ی نوری (جسم) قرار داده و با جابجا کردن محل پرده، تصویر واضحی از جسم روی پرده پدید آورید. فاصله‌ی جسم و تصویر تا آینه را به ترتیب x و x' نامیده و مقادیر اندازه‌گیری شده آنها را در جدول ۱ ثبت کنید.

۲. طول جسم، $\overline{AB}$ ، و طول تصویر، $\overline{A'B'}$ ، را با خط کش اندازه بگیرید و در جدول ۱ ثبت کنید.

بزرگ‌نمایی آینه را یکبار با استفاده از رابطه $m = \frac{\overline{AB}}{\overline{A'B'}}$ و یکبار با استفاده از رابطه $m = \frac{x}{x'}$

محاسبه و در جدول ۱ بنویسید.

۳. با استفاده از رابطه ۱ فاصله کانونی آینه و خطای مطلق و نسبی آن را محاسبه کنید و در جدول ۱ بنویسید.

۴. با تغییر محل آینه مراحل ۱ تا ۳ را پنج‌بار دیگر تکرار کنید. دقت کنید که مقدار x ‌های مختلف حدود ۵ سانتیمتر از هم فاصله داشته باشند.

۵. با استفاده از f ‌های محاسبه شده در جدول ۱، میانگین فاصله کانونی‌های به‌دست آمده، $\overline{f}$ ، و خطای مطلق و نسبی آن را محاسبه کنید:

$$\overline{f} = \dots\dots\dots \text{cm}, \quad \Delta \overline{f} = \dots\dots\dots \text{cm}, \quad \frac{\Delta \overline{f}}{\overline{f}} = \dots\dots\dots \%$$

$x \text{ (cm)}$						
$x' \text{ (cm)}$						
$1/x \text{ (cm}^{-1}\text{)}$						
$1/x' \text{ (cm}^{-1}\text{)}$						
$\overline{AB} \text{ (cm)}$						
$\overline{A'B'} \text{ (cm)}$						
$m = \frac{\overline{AB}}{\overline{A'B'}}$						
$m = \frac{x}{x'}$						
$f \text{ (cm)}$						
$\Delta f \text{ (cm)}$						
$\frac{\Delta f}{f} \%$						

جدول ۱

روش سوم (رسم خط):

با استفاده از داده‌های جدول ۱، نمودار $\frac{1}{x'}$ بر حسب $\frac{1}{x}$ را روی کاغذ میلیمتری رسم کنید و با استفاده از رابطه $\frac{1}{x'} = \frac{b}{x} + \frac{1}{f}$ فاصله‌ی کانونی آینه مقعر و خطای مطلق و نسبی آن را محاسبه کنید. دقت کنید که برای این کار نخست باید شیب نمودار (b) و سپس عرض از مبدا آن ($\frac{1}{f}$) را محاسبه کنید و از روی عرض از مبدا فاصله کانونی و خطای آن را به دست آورید.

به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

- ۱- چرا f در رابطه‌ی ۲ با علامت منفی و در رابطه ۳ با علامت مثبت ظاهر شد؟
- ۲- آیا در بخش اندازه‌گیری فاصله‌ی کانونی آینه‌ی مقعر، عدسی را در هر فاصله‌ی دلخواهی از چشمه می‌توانیم قرار دهیم؟ اگر محدودیتی هست توضیح دهید.