

# دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه (۱)

تهیه و تنظیم:

حمید یوسفی

تابستان ۸۷

## فهرست

۱.....	مقدمه
۲.....	قوانین و مقررات آزمایشگاه
۴.....	مفاهیم و تعاریف اولیه آزمایشگاهی
۱۵.....	۱. آزمایش شماره یک: وسایل اندازه گیری
۲۴.....	۲. آزمایش شماره دو: ماشین آتود
۲۸.....	۳. آزمایش شماره سه: آونگ ساده و سقوط آزاد اجسام
۳۴.....	۴. آزمایش شماره چهار: برخورها
۳۹.....	۵. آزمایش شماره پنج: آونگ فیزیکی
۴۳.....	۶. آزمایش شماره شش: اصطکاک
۵۰.....	۷. آزمایش شماره هفت: فنرها
۵۵.....	۸. آزمایش شماره هشت: کالریمتری
۵۹.....	۹. آزمایش شماره نه: انبساط خطی جامدات
۶۲.....	۱۰. آزمایش شماره ده: تار مرتعش
۶۵.....	۱۱. آزمایش شماره یازده: گرمای نهان ذوب و تبخیر
۶۹.....	۱۲. آزمایش شماره دوازده: اصل ارشمیدس
۷۲.....	۱۳. پیوست (۱): نحوه رسم نمودار در نرم افزار Excel
۸۰.....	۱۴. پیوست (۲): نحوه نوشتن گزارش کار
۸۲.....	منابع و مأخذ

## مقدمه

دانشجویان عزیز سلام

به آزمایشگاه فیزیک پایه (۱) خوش آمدید.

همانطور که می‌دانید هدف از علم فیزیک ارائه مدل‌های ریاضی برای پدیده‌های طبیعت است. اثبات درستی یا نادرستی این مدل‌ها نیز به عهده علم فیزیک است و این کار در آزمایشگاه‌های فیزیک انجام می‌شود. آنجا که به درستی یک مدل ریاضی مهر تایید زده می‌شود، این مدل نام نظریه را بخود می‌گیرد. در آزمایشگاه‌های مختلف علم فیزیک آزمایش‌های متنوعی انجام می‌شود و کاری که در تمامی این آزمایشات انجام می‌گیرد، اندازه‌گیری است. اندازه‌گیری یک فرآیند مقایسه کردن است. مقایسه‌ای میان یک کمیت فیزیکی و یک مقیاس یا واحد اندازه‌گیری. از این روست که برخی علم فیزیک را علم اندازه‌گیری می‌نامند. اینجاست که ما به اهمیت کارها و آزمایش‌های عملی در آزمایشگاه پی‌می‌بریم. اساس کار ما در این آزمایشگاه کار عملی و نتیجه گرفتن از آزمایش می‌باشد. فرض ما بر این است که دانشجویان درس نظری فیزیک پایه (۱) که شامل مکانیک و حرارت است را با بهترین وضعیت گذرانده و در این آزمایشگاه قصد دارند با انجام آزمایش‌های مختلفی که ارائه شده است، درستی مطالب آموخته شده‌شان را بیازمایند. شعار ما در این آزمایشگاه این است:

### " لطفاً به وسایل آزمایشگاهی دست بزنید "

منظور از این شعار این است که دانشجو باید با حس کنجکاوی و علم آموزی که دارد کلیه تجهیزات و وسایل مورد استفاده در آزمایش مورد نظرش را شناسایی و از آنها به نحو احسن استفاده کند. البته این کنجکاوی و دست زدن باید بصورت آگاهانه باشد تا مشکلی برای دانشجو و وسیله آزمایشگاهی پیش نیاید. ما در این آزمایشگاه ابتدا با چند وسیله ساده اندازه‌گیری طول، جرم و زمان آشنا خواهیم شد. وسایلی که در انجام آزمایشها از آنها بسیار استفاده خواهیم کرد. آزمایش‌های ارائه شده در این آزمایشگاه شامل دو بخش است. بخش اول شامل آزمایش‌های مربوط به مکانیک جامدات است که به بررسی قوانین مکانیک نیوتونی می‌پردازد و بخش دوم مربوط به آزمایش‌های علم فیزیک حرارت یا ترمودینامیک است. به دلیل اهمیت کار عملی در آزمایشگاه در این دستور کار ابتدا روش انجام آزمایش و پس از آن تئوری آزمایش آورده شده است. جهت آشنایی با وسایل و دستگاه‌های مورد استفاده در هر آزمایش می‌توانید از دستور کار مصوری که به همین منظور تهیه شده است نیز استفاده کنید. امید است که با سعی، تلاش و پشتکاری که از خود نشان می‌دهید در این آزمایشگاه به اندوخته‌های عملی و علمی خود بیافزایید.

موفقیت روز افزون شما را در کلیه صحنه‌های زندگیتان آرزو مندیم.

پیروز باشید

واحد آزمایشگاهها

## قوانین و مقررات آزمایشگاه

(مطالعه مطالب این قسمت به کلیه دانشجویان توصیه می شود)

### آنچه که دانشجویان باید در تمام آزمایشگاهها بدانند:

به منظور افزایش بهره‌وری و استفاده بهینه از وسایل و تجهیزات موجود در آزمایشگاه و بالا رفتن ضریب یادگیری، ایمنی و سلامت فردی و وسایل لازم است دانشجویان به نکات زیر توجه کرده و به انجام آنها اهتمام ورزند.

#### نکات انضباطی و آموزشی

۱. حضور به موقع در ساعت مقرر در محیط آزمایشگاه مربوط الزامی است.
۲. رعایت نظم و ترتیب در انجام کار گروهی و مسئولیت پذیری در اجرای آزمایش مورد نظر.
۳. دقت در حفظ و نگهداری وسایل و دستگاههای آزمایشگاهی.
۴. عدم تحرک بیجا در آزمایشگاه و عدم دخالت در اجرای آزمایش گروههای دیگر.
۵. داشتن نظم و ترتیب در موقع انجام آزمایش و رعایت سکوت و آرامش در محیط آزمایشگاه.
۶. یادداشت نتایج بدست آمده از آزمایش به منظور تکمیل گزارش کار آزمایش مربوط.
۷. تلاش در هماهنگ نمودن خود با کلاس و گروه.
۸. پیش مطالعه آزمایش تعیین شده به منظور تسلط کامل به انجام آزمایش مورد نظر.
۹. مطالعه دقیق نحوه کار با ابزار اندازه گیری در آزمایشگاه پیش از کار با آنها.
۱۰. توانایی پاسخ گویی به پرسشهای درسی آزمایش مربوطه.
۱۱. عدم تعجیل در انجام آزمایش و داشتن اعتماد به نفس لازم.
۱۲. دقت در کاهش عوامل خارجی که بر روی نحوه اجرای آزمایش و ایجاد خطا اثر می گذارد.
۱۳. طرح پرسشهای درسی و مطرح نمودن سوالاتی که در حین آزمایش پیش می آید.
۱۴. تحویل گزارش کار جلسه قبل در بدو ورود به آزمایشگاه.
۱۵. دسترسی داشتن به لوازم نوشتاری مورد نیاز و ضروری نظیر خط کش، پرگار، ماشین حساب، کاغذ میلیمتری و...

#### نکات ایمنی و سلامت فردی و وسایل آزمایشگاهی

۱. احاطه به کلیه وسایل و دستگاههایی که در هنگام آزمایش مورد نظر با آنها سروکار دارید و کنترل و مراقبت دائمی آنها.
۲. تمیز و مرتب نگاه داشتن محیط آزمایشگاه و میز کار مربوط و دستگاههای آزمایشگاهی.

۳. تلاش در کنترل عوامل فیزیکی محیطی نظیر درجه حرارت، جریان هوا، درصد رطوبت، شرایط اولیه اجرای آزمایش.
۴. به اطلاع رساندن سریع مربیان و مسئول آزمایشگاه از معیوب بودن وسایل آزمایشگاهی.
۵. توجه به نکات و توصیه های ایمنی که توسط مربیان آزمایشگاه مطرح می شود.
۶. حفظ خونسردی در صورت بروز سانحه ای غیر قابل پیش بینی در محیط آزمایشگاه.
۷. احتیاط نمودن در هنگام کار با مواد شیمیایی، سمی، قابل اشتعال و خطرناک نظیر برق، گاز، آب جوش، جیوه و ...

### آنچه که دانشجویان باید در این آزمایشگاه بدانند.

درس آزمایشگاه فیزیک پایه (۱) معمولاً اولین درس عملی است که دانشجویان آن را انتخاب می نمایند. با توجه به عملی و تجربی بودن این درس و ارتباط تنگاتنگ آن با بسیاری از دروس رشته های علوم پایه و مهندسی، این درس و سایر دروس آزمایشگاهی از اهمیت بالایی برخوردارند. بالا بردن اطلاعات علمی و عملی، افزایش مهارت کار عملی و تجربی، بالا بردن سطح تفکر و خلاقیت در کارهای عملی و ایجاد فضای کار گروهی از عمده اهداف درس آزمایشگاه فیزیک پایه (۱) می باشد. کلیه موارد آورده شده در قسمتهای نکات انضباطی و آموزشی و نکات ایمنی و سلامت در این آزمایشگاه نیز قابل توجه و مورد تاکید است و از شما خواسته می شود که کلیه نکات مذکور را به ذهن سپرده و بکار بندید. آنچه که در این آزمایشگاه از اهمیت ویژه ای برخوردار است، فعالیت دانشجو در کارهای عملی و گروهی است. دانشجویان باید با پیش مطالعه دستور کار آزمایشی که قرار است انجام دهند و با اطلاع و آگاهی واحاطه کامل از نحوه انجام آزمایش و وسایل مورد استفاده، وارد آزمایشگاه شوند. به همین منظور و جهت حصول اطمینان از پیش مطالعه مورد نظر قبل از انجام آزمایش از دانشجویان سئوالاتی در غالب کوئیز توسط مربیان مطرح می شود که دانشجویان پس از پاسخگویی به این سئوالات، مجاز به انجام آزمایش خود می باشند. دانشجویان باید کلیه اطلاعات مورد نیاز آزمایش و اعداد بدست آمده از اندازه گیریها را به دقت و بطور منظم یادداشت کنند و در گزارش کاری می نویسند، آنها را ارایه نمایند. (نحوه نوشتن گزارش کار در پیوست (۲) آورده شده است). مهلت ارایه گزارش کار در هر آزمایش یک هفته می باشد و در صورت بروز تاخیر در ارایه آن نمره ای منفی به آن تعلق خواهد گرفت. آزمایشگاه فیزیک پایه (۱) درسی یک واحدیست ولی تجربه نشان داده است که این درس می تواند به اندازه یک درس ۲ تا ۳ واحدی وقت و انرژی از دانشجو سلب کند. بهیمن دلیل به دانشجویان توصیه می شود که کلیه نکات ارایه شده را بکار بندند و با صبر و حوصله و با علاقه و پشتکار کلیه مراحل گذراندن این درس را بطور کامل انجام داده و خواسته های آزمایشگاه را برآورده سازند و با موفقیت کامل و خاطرهای خوش قدم در سایر مراحل تحصیلی خود بگذارند.

و من الله التوفیق

### مفاهیم و تعاریف آزمایشگاهی

فیزیک علم اندازه گیری است. هر کمیتی که در این علم تعریف می شود باید قابل اندازه گیری باشد. اندازه گیری عملی مقایسه ای است که در آن کمیت اندازه گیری شونده با یک مقیاس یا واحد مقایسه می شود. اندازه گیری کمیت های فیزیک می تواند بطور مستقیم و یا غیر مستقیم باشد. اندازه گیریها همواره با خطا همراهند. هیچ اندازه گیری بدون خطا وجود ندارد. خطاها به شکلهای مختلف بوجود می آیند. مانند :

- (۱) خطای دستگاهی، که به علت دقیق نبودن و یا عدم حساسیت دستگاه اندازه گیری بوجود می آید.
- (۲) خطای آزمایشگر، که در آن شخص آزمایشگر باعث تولید خطا می شود.
- (۳) خطای سیستماتیک، که همواره بطور منظم در اندازه گیریها وارد می شود و
- (۴) خطای خارجی، که از عوامل محیطی بوجود می آید.

### محاسبات خطاها

#### ۱ - خطای مطلق

چنانچه بخواهیم آزمایشی را انجام و کمیتی را اندازه گیری کنیم، دو حالت وجود دارد:

الف - مقدار دقیق و واقعی کمیتی که می خواهیم اندازه گیری کنیم را داریم.

ب - مقدار دقیق و واقعی کمیتی که می خواهیم اندازه گیری کنیم را نداریم.

در حالت (الف) اگر مقدار واقعی را به  $X$  و مقدار بدست آمده از آزمایش را به  $X'$  نمایش دهیم در

این صورت خطای مطلق آزمایش بنا به تعریف برابر با اختلاف این دو مقدار خواهد بود یعنی:

$$|X - X'| = \pm \Delta X \quad (1-1)$$

مثلاً در اندازه گیری شتاب ثقل در آزمایش سقوط آزاد اگر  $g$  منطقه برابر  $9/79$  متر بر مجذور ثانیه باشد و  $g$  حاصل از آزمایش برابر  $9/87$  متر بر مجذور ثانیه بدست آید، در این صورت خطای مطلق در اندازه

$$g \text{ گیری } g \text{ برابر است با: } \Delta g = |9/79 - 9/87| = 0/08$$

در حالت (ب) بدلیل آن که مقدار واقعی را نداریم چاره ای جز تکرار آزمایش نیست. مثلاً با توجه به اینکه ضریب اصطکاک به ضخامت فیلم یا لایه سطحی که بین دو سطح تشکیل می شود، بستگی دارد و رطوبت هوا همچون یک فیلم با لایه سطحی روی جسم عمل می کند و در ساعات مختلف اجرای آزمایش نیز با توجه به تغییر درصد رطوبت هوا تفاوت می کند، لذا چاره ای جز تکرار آزمایش و بدست آوردن چند ضریب اصطکاک مثلاً  $\mu_s$  نخواهیم داشت. پس از بدست آوردن چند جواب از روش میانگین گیری مقدار متوسط آن کمیت را بدست می آوریم. در این مثال میانگین برابر است با.

$$\frac{\mu_{S1} + \mu_{S2} + \mu_{S3} + \dots + \mu_{SN}}{N} = \frac{\sum \mu_{SN}}{N} = \bar{\mu}_S \quad (1-2)$$

در اینصورت این مقدار میانگین را بصورت مقدار واقعی کمیت مورد نظر در انتخاب می‌کنیم. با این شرط مقادیر «انحراف از معیار» یعنی مقادیری که با سایر مقادیر بسیار فاصله دارند را از میانگین‌گیری حذف می‌کنیم. «البته با یک دید مثبت» زیرا که این مقادیر، ما را از مقدار واقعی دور خواهند نمود. در این حالت مقدار میانگین را به عنوان مقدار واقعی تلقی کرده و به منظور بدست آوردن خطای مطلق مثلاً در اندازه‌گیری  $\mu_{s_2}$  به روش قسمت (الف) عمل کرده و داریم:

$$\bar{\mu}_s - \mu_{s_2} = \pm \Delta \mu_{s_1} \quad (3-1)$$

### ۲- خطای نسبی:

بنا به تعریف قدر مطلق خطای مطلق تقسیم بر مقدار واقعی را خطای نسبی می‌نامند.

$$\text{خطای نسبی} = \left| \frac{\pm \Delta x}{x} \right| \quad (4-1)$$

### ۳- درصد خطا:

بنا به تعریف خطای نسبی ضربدر ۱۰۰ را که آنرا به صورت درصد نشان می‌دهند درصد خطا یا درصد خطای نسبی می‌نامند.

$$\left| \frac{\pm \Delta x}{x} \right| \times 100 = \% \dots \quad (5-1)$$

در بدست آوردن نتیجه یک آزمایش درصد خطا از اهمیت زیادی برخوردار است. زیرا دقت شخص آزمایش‌کننده را نشان می‌دهد و با توجه به ابزارهای اندازه‌گیری و خطاهای آزمایشگر در آزمایشگاه (۸ تا ۱۰ درصد) خطا قابل قبول است. چنانچه درصد خطا بیش از این مقدار باشد بایستی آزمایش را مجدداً تکرار کرد.

فرض می‌کنیم کمیت قابل اندازه‌گیری  $x$  بصورت غیر مستقیم و از روی مقادیر دیگر  $a, b, c$  که آنها را مستقیماً اندازه‌گیری می‌کنیم، بدست می‌آید. منظور از محاسبه خطا این است که از روی خطاهای  $\Delta a, \Delta b, \Delta c$  که در اندازه‌گیری  $a, b, c$  رخ می‌دهد، خطای  $\Delta x$  را که در نتیجه نهایی یعنی  $x$  حاصل می‌شود را بدست می‌آوریم. اینک چند حالت ساده خطا و نحوه محاسبه آنها را بیان می‌کنیم.

### خطای حاصل جمع و حاصل تفاضل:

اگر  $x = a + b$  بوده و  $\Delta a, \Delta b$  حداکثر خطا در مقادیر  $a, b$  و  $\Delta x$  حداکثر خطا در مقدار  $x$  باشند، حداکثر خطای  $\Delta x$  را می‌توان به طریق زیر محاسبه نمود.

$$\begin{aligned} x &= a + b \\ x + \Delta x &= (a + \Delta a) + (b + \Delta b) \\ x - (x + \Delta x) &= (a + \Delta a) + (b + \Delta b) - (a + b) \\ \Delta x &= \Delta a + \Delta b \end{aligned} \quad (6-1)$$

و خطای نسبی بطوریکه قبلاً گفته شد برابر است با:

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a + \Delta b}{a + b} \quad (7-پ 1)$$

خطای تفاضل دو مقدار از رابطه زیر حساب می‌شود:

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a + \Delta b}{a - b} \quad (8-پ 1)$$

**خطای حاصل ضرب و تقسیم:**

اگر  $x = ab$  بوده و  $\Delta a$ ,  $\Delta b$  خطای مطلق در مقادیر  $a$ ,  $b$  باشند خواهیم داشت:

$$x + \Delta x = (a + \Delta a)(b + \Delta b)$$

$$\Delta x = (a + \Delta a)(b + \Delta b) - (ab)$$

$$\Delta x = a\Delta b + b\Delta a + \Delta a\Delta b$$

چون جمله  $\Delta a\Delta b$  از دو جمله اولی کوچکتر است بنابراین:

$$\Delta x = a\Delta b + b\Delta a \quad (9-پ 1)$$

و خطای نسبی را در این حالت چنین حساب می‌کنیم:

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{a\Delta b + b\Delta a}{ab}$$

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \quad (10-پ 1)$$

در حالتی کلی‌تر اگر کمیت  $x$  حاصلضرب  $n$  کمیت  $a, b, c, \dots$  باشد، داریم:

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} + \dots \quad (11-پ 1)$$

به همین ترتیب اگر  $x = a^n$  باشد در آنصورت خطای نسبی از رابطه زیر حساب می‌شود.

$$\frac{\Delta x}{x} = n \frac{\Delta a}{a} \quad (12-پ 1)$$

اگر  $x = \frac{a}{b}$  باشد و در مقادیر  $a$ ,  $b$  خطای  $\Delta a, \Delta b$  موجود باشد، خواهیم داشت:

$$x + \Delta x = \frac{a + \Delta a}{b + \Delta b}$$

$$\Delta x = \frac{a + \Delta a}{b + \Delta b} - \frac{a}{b}$$

$$\Delta x = \frac{b\Delta a - a\Delta b}{b^2 - b\Delta b}$$

چون جمله  $b\Delta b$  در برابر  $b^2$  کوچک است می‌توان از آن صرف نظر کرد و بدست آورد:

$$\Delta x = \frac{b\Delta a - a\Delta b}{b^2}$$

خطای نسبی در حاصل تقسیم دو کمیت عبارت است از:



$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{b\Delta a - a\Delta b}{b} + \frac{a}{b}$$

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} - \frac{\Delta b}{b}$$

چون در محاسبه خطاها ما بدنبال حداکثر خطا هستیم و خطاها نمی‌توانند همدیگر را خنثی کنند. مقدار خطاهای  $\Delta a, \Delta b$  با هم جمع می‌شوند. یعنی:

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \quad (۱۳-پ۱)$$

**دستور کلی:** فرض کمیت  $x$  تابعی از کمیت‌های  $a, b, c, \dots$  باشد و این کمیتها مستقیماً اندازه‌گیری می‌شوند.  $x = f(a, b, c, \dots)$  از دو طرف این تساوی دیفرانسیل می‌گیریم و بجای دیفرانسیلهای  $dc, db, da$  خطاهای ماکزیمم  $\Delta a, \Delta b, \Delta c, \dots$  را قرار می‌دهیم. با این کار خطای مطلق  $\Delta x$  را بصورت زیر بدست خواهیم آورد:

$$\Delta x = f_{(a)}\Delta a + f_{(b)}\Delta b + f_{(c)}\Delta c + \dots \quad (۱۴-پ۱)$$

که مقادیر  $f_{(a)}, f_{(b)}, f_{(c)}, \dots$  در رابطه (۱۴) مشتقهای جزئی تابع  $f(a, b, c, \dots)$  نسبت به متغیرهای  $a, b, c, \dots$  می‌باشند.

#### حساسیت

حساسیت به شخص آزمایشگر بر می‌گردد و بنا به تعریف عبارتست از عکس خطای نسبی کل

$$\left( \frac{\Delta x}{x} \right) = \text{حساسیت}$$

خطای نسبی

و این بدان معنی است که هر قدر خطای نسبی کل بیشتر باشد آزمایشگر آزمایش را با حساسیت کمتری که از خود انجام داده است.

#### دقت

دقت به ابزار اندازه‌گیری بر می‌گردد و بنا به تعریف عبارتست از حداقل مقداری که می‌توان به کمک یک دستگاه اندازه‌گیری کرد مثلاً کولیس با دقت  $0.001$  متر یا زمان سنج با دقت  $0.1$  ثانیه یا ترازو با دقت  $0.001$  کیلوگرم. آن ابزار اندازه‌گیری با ارزش‌تر است که دقت آن بر رویش ثبت شده باشد. در ابزار اندازه‌گیری که دقت آن مشخص نباشد کافی است که از رابطه زیر به منظور تعیین دقت آن ابزار استفاده کنیم

تفاضل دو عدد متوالی روی دستگاه اندازه‌گیری

تعداد فواصل مساوی بین آن دو عدد

دقت ابزار اندازه‌گیری =

نکته:

در محاسبه درصد خطا بدلیل آن که از نظر فیزیکی خطای صفر درصد معنی ندارد در صورتیکه

در جواب نهایی بدست آمده توسط آزمایشگر خطا صفر درصد باشد، در اینصورت دقت ابزار اندازه گیری به عنوان درصد خطا در نظر گرفته می شود.

### دستگاههای واحدهای استاندارد اندازه گیری

پیش از شروع به اجرای آزمایش ابتدا باید تصمیم گرفت که مقادیر عددی محاسبه در چه دستگاهی اندازه گیری و اجرا شوند. به دستگاه اندازه گیری « سیستم اندازه گیری » نیز می گویند. سه نوع سیستم اندازه گیری در دنیا مرسوم است:

۱- سیستم اندازه گیری بین المللی SI یا M.K.S (متر، کیلوگرم، ثانیه) که بسیار تلاش می شود کلیه کشورهای جهان از آن پیروی کنند.

۲- سیستم اندازه گیری C.G.S (سانتیمتر، گرم، ثانیه) که زیر مجموعه ای از سیستم SI است.

۳- سیستم اندازه گیری f.Lb.s (فوت (۰/۳۳ متر)، پوند (۴/۴۵ نیوتون) و ثانیه) که در حال کنار گذاشته شدن توسط اکثر کشورهای جهان است.

(برخی از واحدهای اندازه گیری دیگر و تبدیلات میان آنها در پیوست (۳) آورده شده است.

### انواع کمیت ها

در فیزیک کمیتها به دو گروه تقسیم می شوند:

۱- اصلی: کمیتهایی که مبنای تعریف سایر کمیتها هستند و خود بطور مستقل بیان می شوند. نظیر طول، جرم و زمان.

۲- فرعی: کمیتهایی که وابسته، به کمیتهای اصلی هستند و از ترکیب کمیتهای اصلی بدست می آیند نظیر نیرو، جرم حجمی، شتاب و ...

کمیتهای اصلی و برخی از کمیتهای فرعی و یکای اندازه گیری آنها در پیوست (۳) آورده شده است.

### ارقام با معنی و بی معنی:

ارقام با معنی به ارقامی گفته می شود که در حد دقت ابزار اندازه گیری هستند.

مثال: در اندازه گیری زمان وقوع یک رویداد بوسیله زمان سنجی با دقت ۰/۰۲ ثانیه مقادیر زیر بدست آمده اند:

الف: (S) ۳۵/۲۸۴      ب: (S) ۳۵/۲۷      ج: (S) ۳۵      د: (S) ۳۵/۱۲

کدام گزینه صحیح است؟

پاسخ: با توجه به تعریف ارقام با معنی چون دقت ابزار اندازه گیری تا دو صدم ثانیه است پس گزینه (الف) و (ج) که به ترتیب اولی تا سه رقم اعشار و دومی عدد اعشاری ندارد صحیح نمی باشند. گزینه (ب) نیز صحیح نمی باشد زیرا رقم ۷ عددی فرد است. در حالیکه زمان سنج قادر به قرائت مضربهای زوج می باشد. بنابراین تنها گزینه (د) صحیح است. تفاوت ریاضی در اعداد بدست آمده آزمایشگاهی با

اعداد صرف در ریاضی معمولی این است که در آزمایشگاه به هیچ وجه حق نداریم بیش از ارقام با معنی در جواب آزمایش رقم بیاوریم، چنانچه در حین آزمایش با چند دستگاه اندازه گیری سروکار داشته باشیم مقدار رقم بامعنی که باید در نظر گرفته شود معمولاً در حد بالاترین دقت اندازه گیری در میان دستگاهها باید باشد.

**مثال:** در اندازه گیری از خط کشی با دقت  $0/0001$  متر و ترازوی با دقت  $0/001$  کیلوگرم و زمان سنجی با دقت  $0/01$  ثانیه استفاده شده است. در محاسبات عددی تا چند رقم بعد از اعشار یا به عبارتی تا چند رقم بامعنی را مجاز به در نظر گرفتن هستیم.

**پاسخ:** با در نظر گرفتن بالاترین دقت مربوط به خط کش  $0/0001$  متر بنابراین تا چهار رقم بعد از اعشار یعنی تا ۴ رقم بامعنی را مجاز به در نظر گرفتن هستیم. توجه داشته باشید که در کلیه محاسبات ریاضی مثال فوق فقط مجاز به انجام اعمال ریاضی نظیر جمع، ضرب و... برای اعداد تا چهار رقم بامعنی می‌باشیم بنابراین چنانچه در محاسبه‌ای ریاضی در مثال فوق جواب به صورت  $0/78632915$  درآمد، چاره چیست؟ در پاسخ به سوال فوق باید از روش گرد کردن ارقام استفاده کنیم.

#### گرد کردن رقمها

مانند مثال قبل اگر جواب ناشی از آزمایش به صورت  $0/78632915$  بود و دقت ابزار اندازه گیری مستلزم داشتن ۴ رقم بامعنی بعد از اعشار بود باید از روش گرد کردن اعداد استفاده کنیم. بدین ترتیب که:

۱- رقم های ۰، ۱، ۲، ۳، ۴، بی اثر حذف می شوند.

۲- رقم های ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ ضمن حذف شدن یکی به رقم سمت چپ خود می افزایند.

لازم به تذکر است که عمل ریاضی گرد کردن از راست به چپ انجام می شود. برای مثال فوق خواهیم داشت:

$0/78632915$

جواب نهایی  $0/7863$  است

فرض کنید که دقیق ترین ابزار اندازه گیری، تا ۴ رقم بامعنی بعد از اعشار را نمایش دهد و ضمناً مضرب زوج را نمایش می داد. مثلاً دقتی در حد  $0/0002$  داشت در اینصورت اگر جواب نهایی به صورت  $0/7863$  قابل قبول خواهد بود برای مضارب فرد نیز بهمین ترتیب عمل خواهد شد. در اینجا لازم است که به این پرسش پاسخ داده شود که ضرورت ابزارهای اندازه گیری با دقت بیشتر و آزمایش های دقیقتر در نتیجه جوابهای با ارقام بامعنی بیشتر چیست؟ در پاسخ باید گفت که ضرورت این امر مستقیماً به نیاز شدید در جامعه امروز به زندگی با سرعت و دقت بیشتر و بالاتر باز می گردد. به گونه ای که صد سال پیش گذشت زمان بر حسب شبانه روز و ساعت برای بشر اهمیت داشت و امروزه اندازه گیری یک صدم ثانیه از زمان به منظور ثبت وقوع یک رویداد امری طبیعی و بلکه پیش پا افتاده است. توجه داشته

باشید که امروزه ارزش جوابهای آزمایشگاهی بدست آمده مستقیماً به دقت بیشتر ابزار اندازه گیری مربوط می گردد. لذا در اجرای آزمایشها به هیچ وجه حق اضافه نمودن یا کاستن مقادیر عددی به نتیجه بدست آمده را نداریم.

### نماد گذاری

توجه داشته باشید که از دیگر تفاوتهای ریاضیات آزمایشگاه با ریاضی معمولی آن است که در نوشتن مقادیر عددی در آزمایشگاه حتماً باید نماد (دیمنسیون یا بُعد) عدد مربوطه در مقابل آن ثبت شود. اگر جواب بدست آمده مربوط به یک ضریب یا عدد ثابت است باید حتماً در مقابل آن کلمه ضریب ثابت قید شود.

### محاسبه کلی خطا (محاسبه خطا به روش لگاریتمی)

فرض کنید که شما نخستین فردی باشید که یک آزمایش عملی به منظور تحقیق صحت یک رابطه فیزیکی یا شیمی یا زیست یا... را انجام می دهید. یا فرض کنید که به دلیل کمبود وقت و امکانات مالی فقط یک بار فرصت اجرای این آزمایش را داشته باشید. اینک این سؤال مطرح می شود که چگونه دریابیم جوابی که بدست آورده ایم صحیح است (با یک بار آزمایش) و یا نسبت به جواب واقعی چقدر خطا داشته ایم. در چنین شرایطی از محاسبه خطا به روش لگاریتمی استفاده می کنیم.

به عنوان مثال فرض کنید که این امکان برای شما بوجود آمده تا شتاب ثقل در سیاره ای را مشخص نمایید. بدین منظور فرض کنید که از یک ابزار اندازه گیری طول (متر فلزی با دقت ۰/۰۰۱ متر) و از یک زمان سنج (کرونومتر با دقت ۰/۰۱ ثانیه) استفاده می کنید و تنها فرصت دارید یکبار کمیتهای مورد

نظر را اندازه گرفته و ثبت کنید. فرض کنید که در این راه از فرمول فیزیکی سقوط آزاد  $y = \frac{1}{2}gt^2$

استفاده می کنید چنانچه پس از آزمایش نتایج زیر را بدست آورده باشید ( $y = 1.0m$  ,  $t = 2/24s$ ) اینک می خواهیم از روش لگاریتمی دریابیم که مقدار خطای شما در بدست آوردن  $g$  در آن سیاره چقدر بوده است. به این منظور ابتدا رابطه تئوری مورد نظر را نوشته :  $y = \frac{1}{2}gt^2$ . رابطه را برحسب

$$g = \frac{2y}{t^2} \text{ می کنیم مرتب می کنیم.}$$

از طرفین رابطه در مبنای طبیعی لگاریتم می گیریم :

$$\ln g = \ln 2 + \ln y - 2 \ln t$$

در بدست آوردن رابطه فوق از خواص عملکرد لگاریتم که ضرب را به جمع و تقسیم را به تفریق و توان را به پشت لگاریتم منتقل می کند، استفاده می کنیم. اینک از رابطه فوق دیفرانسیل جزئی می گیریم. یعنی تغییرات هر یک از پارامترهای موجود در رابطه را نسبت به خودش در نظر می گیریم.

$$(Ln g = Ln \nu + Ln y - \nu Ln t) \Rightarrow \frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta \nu}{\nu} + \frac{\Delta y}{y} - \nu \frac{\Delta t}{t}$$

مقادیر ثابت که نسبت تغییرشان به خودشان صفر است را حذف کرده و چون حداکثر خطا را می‌خواهیم محاسبه کنیم کلیه علامتهای منفی را به مثبت تبدیل می‌کنیم.

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta y}{y} + \nu \frac{\Delta t}{t}$$

اینک توجه کنید که رابطه  $\frac{\Delta g}{g}$  با توجه به تبدیل تمام علائم منفی به مثبت چیزی مشابه  $\left| \frac{\Delta x}{x} \right|$  یعنی خطای نسبی است. حال در سمت راست معادله بدست آمده اخیر به جای  $\Delta$ ها دقت اندازه گیری و بجای مخرج کسرها مقادیر بدست آمده آزمایش را قرار می‌دهیم. بنابراین داریم:

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{0.001}{10} + 2 \frac{0.01}{2.24} = 0.0001 + 0.008 = 0.0081$$

$$\left| \frac{\Delta g}{g} \right| \times 100 = 0.81\%$$

و با توجه به دقت اندازه گیری در آزمایش فوق درصد خطای نسبی در محاسبه برابر با 0.81 درصد بوده است. لذا با یک نسبت گیری ساده

$$x = \frac{0.81}{100} = 0.0081$$

درمی‌یابیم که مقدار  $g$  واقعی در آزمایش مورد نظر با توجه به یک بار اجرای آزمایش برابر بوده است با

$$g = 10 - 0.0081 = 9.9919 \frac{m}{s^2}$$

به این ترتیب با مثالی که در بالا آورده شد می‌توان به منظور تحقیق نتایج ناشی از یک رابطه فیزیکی یا شیمی یا زیست از روش محاسبه خطا به روش لگاریتمی استفاد نمود.

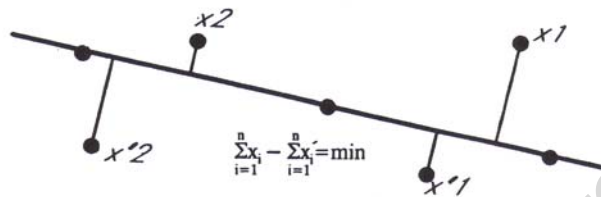
### کاربرد نمودار در آزمایشگاه و نحوه رسم نمودار

هنگام کار در آزمایشگاه معمولاً به منظور تعیین جواب صحیح، آزمایش را چند بار تکرار می‌کنند و در نهایت با میانگین گیری از مقادیر بدست آمده از آزمایش این نتیجه به عنوان نتیجه آزمایش انتخاب می‌شود. در اینصورت هر چه تعداد دفعاتی که آزمایش انجام می‌پذیرد بیشتر باشد جواب به مقدار واقعی نزدیکتر خواهد بود. بدین منظور بهتر آنست که با انتخاب چند نمونه جواب و رسم نمودار با سرعت بیشتری به نتیجه‌ای که به دنبالش هستیم نائل شویم. در آزمایشها با تغییر یکی از کمیتها (متغیر) مقدار کمیتهای دیگر (تابع) را بدست آورده و در جدول ثبت می‌نماییم. معمولاً از دستگاه مختصات دکارتی استفاده می‌کنیم و متغیرها را روی یک محور (مثلاً  $y$ ) نقطه یابی کرده و نقاط را به یکدیگر

متصل می کنیم. لازم بذکر است که لزومی ندارد خط رسم شده از کلیه نقاط عبور کند بلکه کفایت نقاط در دو طرف خط بطور تقریباً مساوی قرار گرفته باشند. شرط آنکه این خط بهترین خط باشد اینست که :

$$\sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n x'_i = \min \quad (15-پ ۱)$$

یعنی تفاضل مجموع فواصل نقاط بالای خط تا خط و مجموع فواصل نقاط پایین خط تا خط ، حداقل مقدار ممکن باشد .



شکل (۱-پ ۱) طرحی شماتیک از بهترین خط رسم میان تعداد داده تجربی

### انواع کاغذ رسم نمودار

نوع کاغذ رسم بکار برده شده در آزمایشگاه به نوع معادله ریاضی که با آن سروکار داریم بستگی دارد. در هر حالت هدف بدست آوردن یک نمودار خطی است تا با استفاده از شیب آن یک نتیجه فیزیکی به دست آورده شود. اصولاً بشر به منظور تسهیل در زندگی فیزیکی نیاز به قسمتهای خطی از طبیعت را دارد. لذا در هر حالت باید نوع کاغذی را برای رسم نمودار استفاده نمود که نتیجه خطی را ارائه دهد تا بتوان بر اساس آن یک قانون فیزیکی را نتیجه گرفت.

### الف - کاغذ میلیمتری:

چنانچه معادله فیزیکی مورد نظر به صورت خطی  $y = Ax + B$  باشد در این صورت اینگونه معادله و نظیر آنرا روی کاغذ میلیمتری رسم می نمائیم و از رابطه:

$$\operatorname{tg} a = \frac{y}{x} \quad (16-پ ۱)$$

یک نتیجه فیزیکی بدست خواهد آمد.

### ب - کاغذ نیمه لگاریتمی:

در توابعی که شکل نمایی دارند نظیر  $y = Ae^{Bx}$  با لگاریتم گیری از طرفین معادله در مبنای طبیعی

$$\log y = \log A + Bx \quad (17-پ ۱)$$

ملاحظه می شود که :

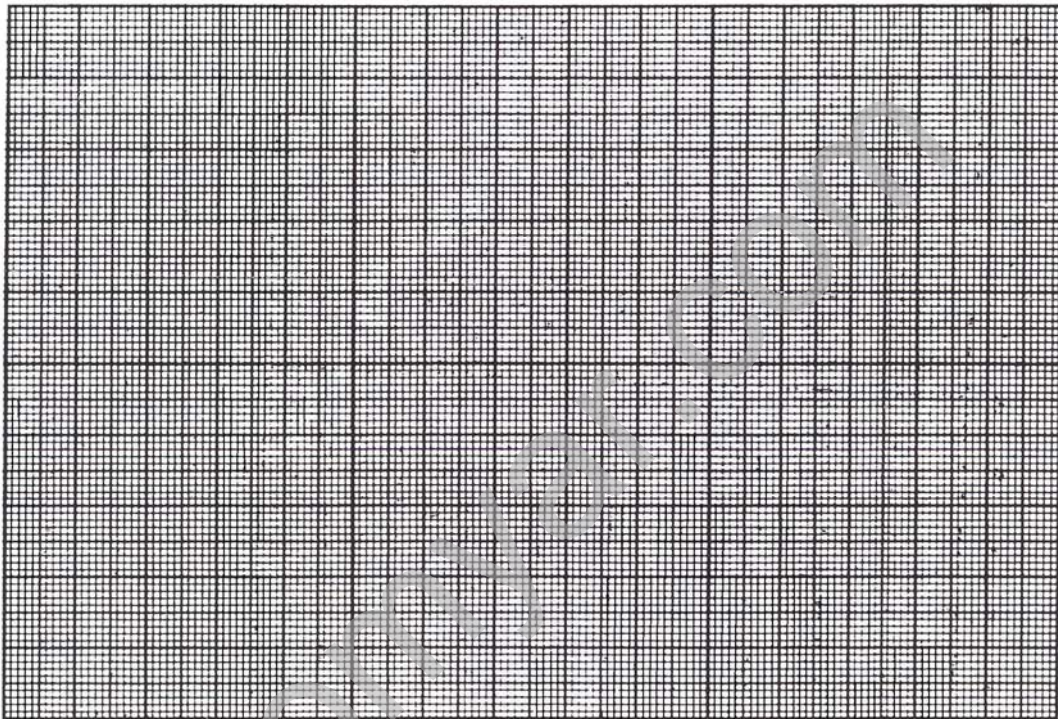
تغییرات  $x$  عادی و  $y$  لگاریتمی خواهد بود در این صورت  $y$  در روی محور لگاریتمی اینگونه کاغذها باید رسم شود تا نتیجه یک خط راست باشد. لازم بذکر است که برای تعیین شیب خط ( $\operatorname{tga}$ ) در این نوع نمودارها طول  $y$  را در طول یک سیکل (دوره) (از صفر تا صفر بعدی محور لگاریتمی) یعنی در ضریب ثابت  $(\frac{2}{3})$  (طول سیکل) ضرب می کنیم.

ج - کاغذ تمام لگاریتمی:

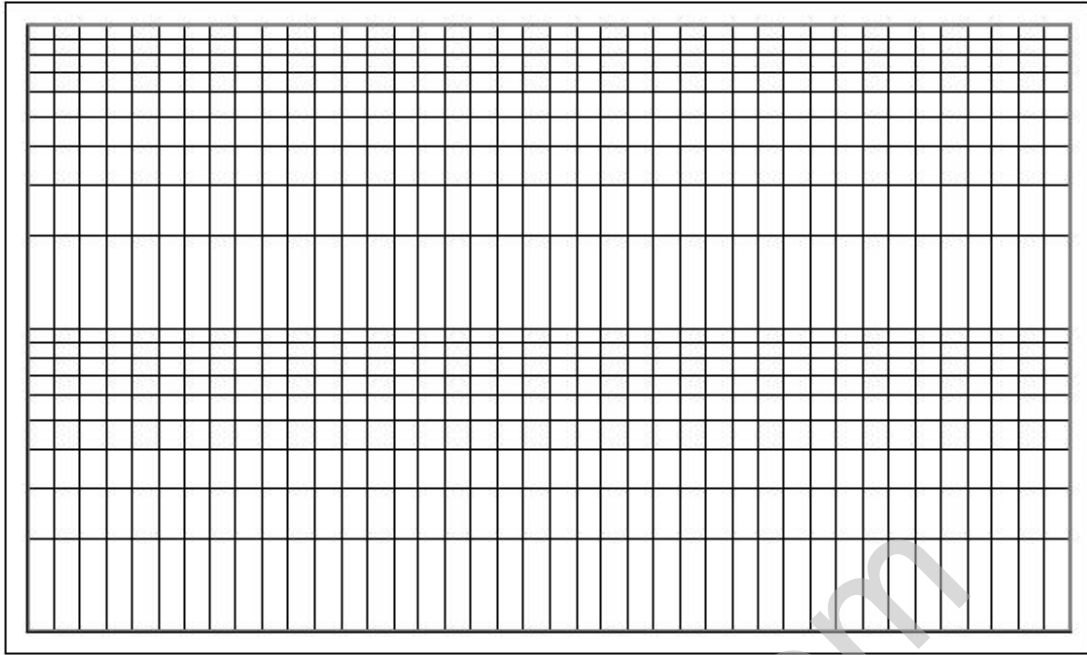
توابعی که معادله‌ای به صورت  $y = Ax^B$  برای آنها برقرار است. اگر از طرفین معادله لگاریتم طبیعی گرفته شود:

$$\log y = \log A + B \log x \quad (18-پ 1)$$

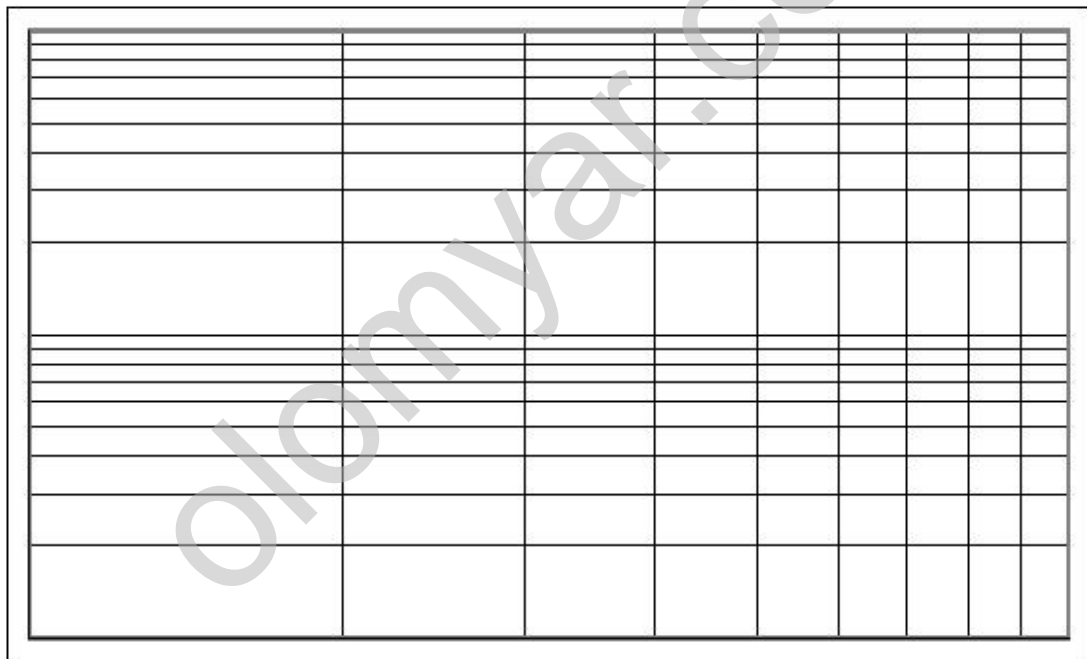
اینگونه معادلات بر روی کاغذهای تمام لگاریتمی رسم می‌شوند. مجدداً تاکید می‌شود که نتیجه‌گیری از روی نمودار به مراتب سهل‌تر از محاسبات عددی طولانی و تکراری خواهد بود. در ادامه نمونه‌های از انواع سه کاغذ رسم نمودار مورد استفاده در آزمایشگاه آورده شده است.



شکل (۲-۱) کاغذ میلیمتری



شکل (۳-۱) کاغذ نیم لگاریتمی



شکل (۴-۱) کاغذ تمام لگاریتمی

جهت آشنایی و کسب اطلاعات بیشتر می‌توانید به منابع [6], [5] مراجعه نمایید.





### آزمایش شماره (۱)

نام آزمایش: وسایل اندازه گیری

هدف آزمایش: آشنایی با وسایل اندازه گیری طول و جرم

وسایل مورد نیاز: خط کش، کولیس، ریزسنج، گوی سنج، ترازو و ...

### تئوری آزمایش

فیزیک علم اندازه گیری یا به عبارتی علم تجربه های کمی است. ابزارهای اندازه گیری بسیاری با دقت بالا به منظور رفع نیازهای آزمایشگاههای فیزیک ساخته شده اند و همواره در حال توسعه می باشند. کمیتهای طول و جرم در کار علمی از اهمیت بنیادی برخوردارند که در اغلب آزمایشها اندازه گیری می شوند. به همین دلیل در اولین آزمایش از این آزمایشگاه با برخی از این وسایل و ابزار اندازه گیری آشنا خواهیم شد.

### (الف) درجه بندی ورنیه

درجه بندی ورنیه روشی است که توسط آن می توانیم دقت ابزار اندازه گیری خود را افزایش دهیم. اصول این درجه بندی در سال ۱۶۳۱ میلادی توسط شخصی به نام ورنیه پایه ریزی شد. درجه بندی ورنیه یک درجه بندی کمکی است که می تواند در مقابل مقیاس اصلی و ثابت اندازه گیری جابجا شود. این درجه بندی از نظر اندازه با درجه بندی مقیاس ثابت متفاوت است. بدین ترتیب که  $n$  واحد از درجه بندی ورنیه مساوی با  $(n-1)$  درجه مقیاس ثابت است. برای مثال طول یک واحد از درجه بندی ورنیه را با  $X$  و طول یک واحد از درجه بندی خط کش ثابت را  $Y$  نمایش می دهیم. اگر طولی دلخواه شامل  $n$  واحد از درجه بندی ورنیه و  $(n-1)$  واحد از درجه بندی خط کش باشد، خواهیم داشت:

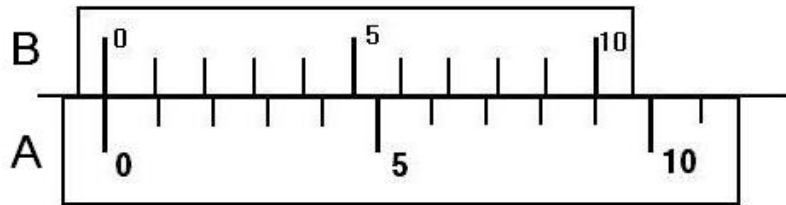
$$nX = (n-1)Y \rightarrow X = \frac{n-1}{n}Y \quad (1-1)$$

که  $n$  عددی صحیح است. کوچکترین مقداری که توسط درجه بندی ورنیه خوانده می شود، کمترین شمارش نام دارد که همان دقت دستگاه می باشد و برابر است با تفاضل بین یک درجه خط کش ثابت و یک درجه ورنیه یعنی:

$$Y - X = Y - \frac{n-1}{n}Y = \frac{1}{n}Y \quad (1-2)$$

برای مثال یک ورنیه دارای ۱۰ درجه است به طوری که طول آن مطابق با ۹ درجه خط کش ثابت است (شکل (۱-۱)). بنابراین هر درجه از ورنیه به اندازه  $\frac{1}{10}$  از درجه بندی خط کش ثابت کوچکتر

است. اکنون با فرض آنکه صفر ورنیه روبروی صفر خط کش ثابت قرار داشته باشد، اولین شماره ورنیه از اولین شماره خط کش ثابت به اندازه  $\frac{1}{10}$  درجه عقب است.



شکل (۱-۱) درجه بندی ورنیه B (۹ واحد از درجه بندی خط کش ثابت A به ۱۰ واحد تقسیم شده است). در این حالت دومین شماره ورنیه به اندازه  $\frac{2}{10}$  از دومین شماره خط کش ثابت و آخرین شماره ورنیه با اندازه  $\frac{1}{10}$  یا یک درجه از شماره خط کش ثابت فاصله گرفته است. بنابراین آخرین یا دهمین شماره ورنیه روبروی نهمین شماره خط کش ثابت واقع شده است. حال اگر ورنیه به طرف راست حرکت داده شود تا اینکه ششمین درجه آن با ششمین درجه خط کش ثابت روبرو شود میزان جابجایی برابر  $\frac{1}{10} \times 6$  یا  $\frac{6}{10}$  درجه اصلی خواهد بود. هرگاه جابجایی ورنیه بیش از چند درجه خط کش ثابت باشد، باز نحوه عمل با اندکی دقت به همان صورت خواهد بود. برای مثال صفر ورنیه به اندازه ۲ درجه خط کش ثابت و کسری از آن حرکت کرده است که با توجه به درجه منطبق شده ورنیه (درجه ششم) میزان جابجایی برابر مقدار زیر خواهد بود.

$$\text{درجه اصلی} = \frac{2}{10} + \frac{6}{10} = \frac{2}{6}$$

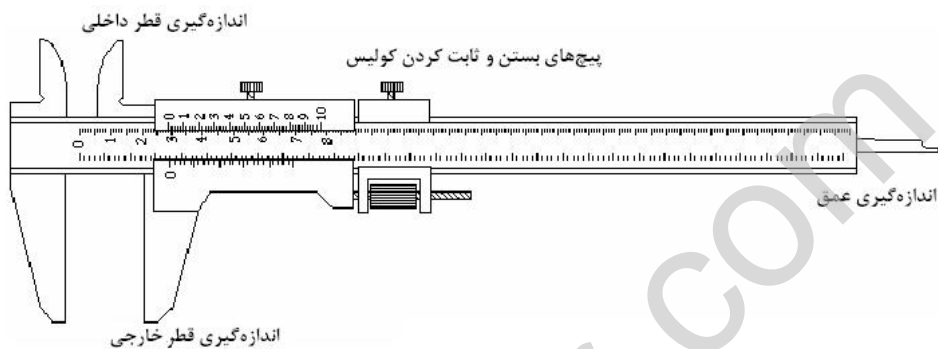
مقدار عددی  $n$  در وسایل اندازه گیری مختلف، متفاوت است. در هر حال اصول کلی ورنیه‌ها یکی است و کسی که اصول کار ورنیه را فرا گرفته باشد به آسانی می‌تواند از وسایل اندازه گیری مختلف استفاده کند. در هنگام استفاده از وسیله‌ای که دارای ورنیه است اول باید کمترین شمارش آن را مشخص کرد. بعد برای اندازه گیری جابجایی باید ابتدا تعداد درجات خط کش ثابت را قبل از صفر ورنیه قرار دارند، قرائت کرد. سپس درجه‌ای از ورنیه که روبروی یکی از درجات خط کش ثابت قرار گرفته است را معین نموده و در نهایت باید حاصلضرب کمترین شمارش عدد خوانده شده ورنیه را بدست آورد و با عدد خوانده شده خط کش ثابت جمع کرد.

### (ب) کولیس

کولیس وسیله‌ای برای اندازه گیری طول است که دقت آن از خط کش معمولی بیشتر است. کولیسها معمولاً برحسب سانتیمتر و میلی متر درجه بندی می‌شوند و شامل یک قسمت متحرک

دارای درجه بندی ورنیه می باشند. این وسیله (شکل (۱-۲)) دارای سه دهانه برای اندازه گیری طول می باشد که عبارتند از:

- ۱- دهانه بزرگ برای اندازه گیری ضخامت قطره های خارجی
- ۲- دهانه کوچک برای اندازه گیری قطر داخلی و داخل شیارها
- ۳- قسمت عمق سنج که برای درون سوراخ و اندازه گیری عمق به کار می رود.

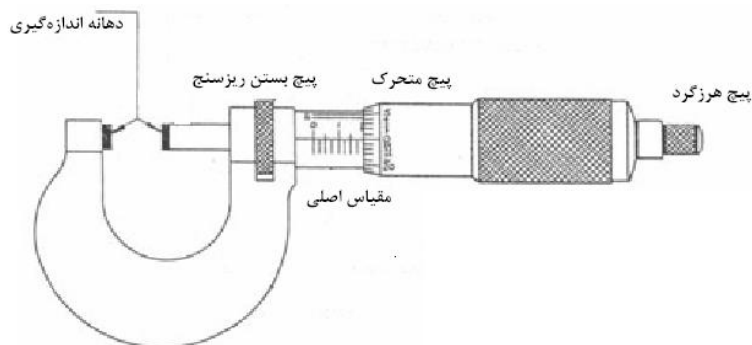


شکل (۱-۲) نمایی از یک کولیس

وقتی ورنیه دستگاه حرکت کند تمام دهانه ها به یک اندازه باز می شوند. بعضی از کولیس ها ممکن است بر حسب چندین درجه بندی مدرج شوند مثلاً میلی متر و سانتیمتر و اینچ. دقت اندازه گیری آنها نیز معمولاً ۰/۱، ۰/۰۵ و ۰/۰۲ می باشد. طریقه خواندن طول اندازه گیری شده توسط کولیس در بخش بعد آورده شده است.

### (ج) ریز سنج

ریز سنج (میکرومتر) وسیله ای است که برای اندازه گیری طول بکار می رود و دقیقتر از کولیس است از این وسیله معمولاً برای اندازه گیری های بادقت بالا استفاده می شود. این وسیله از یک استوانه ثابت مدرج و یک استوانه متحرک مدرج که می تواند روی استوانه ثابت مدرج بچرخد و جابجا شود و یک کمان فلزی متصل به استوانه ثابت تشکیل شده است.



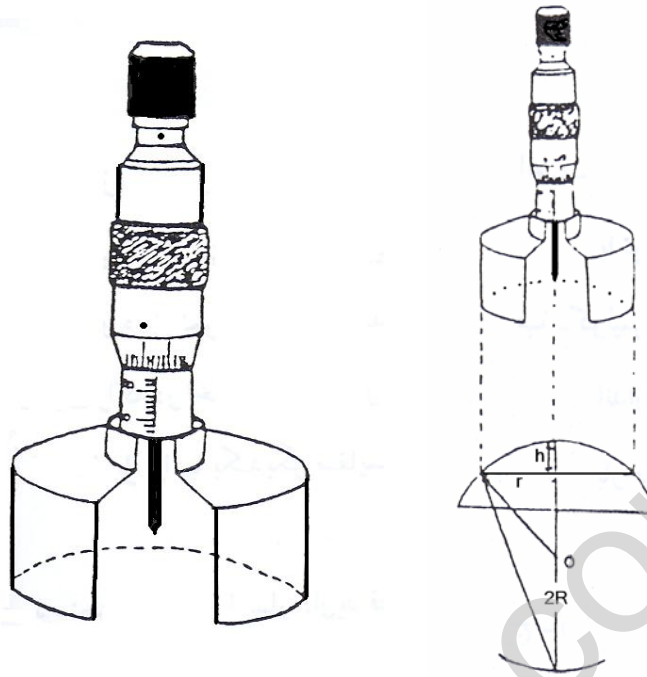
شکل (۱-۳) نمایی از یک ریز سنج



گام ریزسنج عبارتست از جابجایی استوانه متحرک در طول استوانه ثابت به ازای هر دور چرخش و به نحوه طراحی و دقت دستگاه بستگی دارد. گام ریزسنج می‌تواند ۱ میلی‌متر یا  $\frac{1}{4}$  میلی‌متر باشد. هرگاه استوانه متحرک به ۵۰ قسمت تقسیم شده باشد با چرخاندن استوانه متحرک به اندازه دو دور کامل دهانه یک میلی‌متر جابجا میگردد (گام  $\frac{1}{2}$  میلی‌متر) و در نتیجه ۱۰۰ قسمت از استوانه متحرک معادل ۱ میلی‌متر از استوانه ثابت (خط کش ثابت) می‌باشد. بنابراین دقت دستگاه  $\frac{1}{100}$  میلی‌متر است. فرض کنید دهانه ریزسنج پس از چندین دور چرخش مقداری باز شده است. حال برای خواندن این مقدار تعداد میلی‌مترها را می‌توان از روی استوانه ثابت خوانده و با کسری از میلی‌متر که بر روی استوانه متحرک خوانده می‌شود جمع کرد و مقدار جابجایی را اندازه‌گیری نمود. برای مثال اگر استوانه متحرک به اندازه ۵ دور کامل و کسری از دور چرخیده شود و گام ریزسنج برابر  $\frac{1}{2}$  میلی‌متر باشد خواندن این عدد چنین است ۵ دور معادل  $\frac{2}{50}$  میلی‌متر می‌باشد و فرض کنید عددی که از روی استوانه متحرک خوانده شود ۳۵ است، پس اندازه‌گیری مورد نظر  $mm \frac{2}{85} = \frac{2}{50} + \frac{0}{35}$  خواهد بود. شکل‌های (۱-۶) و (۱-۳) نمایی از یک ریزسنج را نشان می‌دهند.

#### (د) گوی سنج

گوی سنج یا تقعرسنج وسیله‌ای است که برای اندازه‌گیری تقعر یا تحدب سطوح کروی (شعاع کره) و یا ضخامت مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ابزار از یک استوانه ثابت، یک محور مرکزی متحرک و یک خط کش عمودی ثابت ساخته شده است. نحوه کار محور متحرک مانند ریزسنج است. محور متحرک روی محور اصلی که روی صفحه ثابت قرار دارد چرخیده و هر گام آن (یک دور کامل) برابر  $\frac{0}{5}$  میلی‌متر است. در اینصورت کمترین مقدار قابل اندازه‌گیری  $\frac{0}{101}$  میلی‌متر خواهد بود. برای اندازه‌گیری ضخامت جسم مورد نظر را روی صفحه صاف و افقی قرار داده به طوری که استوانه ثابت گوی سنج نیز بر صفحه افقی مماس باشد. در این حالت انتهای محور متحرک را طوری تنظیم می‌کنیم که بر سطح جسم مورد نظر مماس شود عددی که روی تقعرسنج خوانده می‌شود ضخامت جسم مورد نظر را بدست می‌دهد. برای اندازه‌گیری تقعر یا تحدب استوانه ثابت گوی سنج را روی جسم کروی قرار می‌دهیم. با چرخاندن محور متحرک انتهای آنرا بر سطح مورد نظر محدود می‌کنیم. در این وضعیت گوی سنج فاصله پایین‌ترین یا بالا‌ترین نقطه سطح کروی مورد نظر را از مقطع استوانه را به ما نشان می‌دهد



شکل (۱-۴) نمایی از یک گوی سنج

میتوان نشان داد که شعاع سطح کروی (شعاع کره ای که سطح مورد نظر بخشی از آن است) عبارتست از:

$$R = \frac{r^2 + h^2}{2h} \quad (1-3)$$

که  $h$  مقدار خوانده شده از گوی سنج و  $r$  شعاع استوانه ثابت است

جهت کسب اطلاعات بیشتر می‌توانید به مراجع [1], [2], [3], [4], [5], [13], [16] مراجعه کنید.

### روش انجام آزمایش

در اولین آزمایش شما با وسایل اندازه‌گیری طول و جرم آشنا خواهید شد. ریزسنج وسیله‌ای بسیار دقیق و حساس است و باید مراقب بود که فشار دست در هنگام تماس میله ریزسنج با سطح جسمی (قطعه‌ای) که بُعدی از آن در حال اندازه‌گیری است، بیش از حد اعمال نشود. بدین خاطر

قسمتی عاج دار به صورت هرز چرخیده می شود. و نیرویی را به قطعه وارد نمی نماید. در این هنگام صدایی از وسیله به گوش می رسد که نشان دهنده چرخش بیش از حد می باشد. از این رو باید مواظب بود تا در هنگام کار با ریزسنج حتماً انتهای عاج دار آن برای چرخانیدن در دست گرفته شود.

**خطای صفر:** خط نشان صفر قسمت متحرک هر وسیله اندازه گیری در حالت عادی باید در مقابل خط صفر قسمت ثابت آن وسیله قرار گیرد. اگر این دو خط در مقابل هم نباشند، گفته می شود که وسیله فوق دارای خطای صفر است. در اکثر ابزارهای اندازه گیری خطای صفر قابل رفع و تنظیم می باشد. در صورت رفع نشدن خطای صفر در ریزسنج یا کولیس اگر خط نشان صفر قسمت متحرک ریزسنج یا کولیس از خط نشان صفر قسمت ثابت گذشته و مقابل درجاتی از آن قرار گرفته باشد، مقدار خطای صفر مثبت و در غیر این صورت این خطا منفی است. در آزمایشگاه باید مقدار خطای صفر را از مقدار خوانده شده کم کرد. همچنین باید مقدار خطای صفر هر وسیله اندازه گیری غیر قابل تنظیم را دانست و آنرا در مقادیر خوانده شده دخالت داد و یا در بعضی از وسایل که امکان تنظیم صفر آن وجود دارد، صفر وسیله را قبل از استفاده تنظیم نمود.

**قسمت (الف - ۱) تعیین خطای صفر:** ابتدا ۵ بار کولیس و سپس ۵ بار ریزسنج را باز و بسته کرده و خطای صفر آنها را در جدول (۱-۱) یادداشت کنید. اکنون میانگین آنها را بدست آورده و در این جدول ثبت کنید. در نوشتن تعداد ارقام با معنی در عدد میانگین دقت نمایید.



شکل (۱-۵) وجود خطای صفر در یک ریزسنج

**قسمت (ب - ۱) تعیین ضخامت یک ورقه:** ضخامت ورقه هایی از کاغذ و فلز را با ریزسنج ده بار اندازه گرفته و مقدار خوانده شده را در جدول (۱-۲) یادداشت کنید. سعی کنید اندازه گیری از نقاط مختلف نمونه باشد.



شکل (۱-۶) ریز سنج

قسمت (ج- ۱) تعیین حجم یک قطع : طول، قطر داخلی و قطر خارجی نمونه استوانه‌ای شکل را به وسیله کولیس ۱۰ بار اندازه گرفته و مقدار خوانده شده را در جدول (۱-۳) یادداشت کنید. حال با داشتن قطرهای داخلی و خارجی و طول استوانه مقدار حجم آنرا بدست آورید.



شکل (۱-۷) کولیس

قسمت (د- ۱) تعیین شعاع تحدب شیشه ساعت : برای اندازه گیری شعاع تحدب یک شیشه ساعت ابتدا استوانه ثابت گوی سنج را روی شیشه ساعت قرار داده با چرخاندن محور متحرک، انتهای آن را بر سطح مورد نظر مماس کنید. در این وضعیت گوی سنج فاصله بالاترین نقطه سطح شیشه ساعت را از لبه



استوانه ثابت (h) را نشان می‌دهد. اختلاف ارتفاع محورهای گوی سنج را ۱۰ بار اندازه‌گیری کرده و در جدول (۱-۴) یادداشت کنید. فاصله محورهای ثابت و متحرک گوی سنج (r) را نیز ۵ بار توسط کولیس اندازه‌گیری کرده و در جدول (۱-۴) یادداشت کنید. با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده برای h و r مقدار R (شعاع تحدب شیشه ساعت) را بیابید.



شکل (۱-۹) گوی سنج

شکل (۱-۸) ترازوی یک کفه‌ای و جعبه وزنه

قسمت (۱-۵) تعیین وزن یک قطعه: جرم نمونه استوانه‌ای شکل را ۵ بار با ترازویی که صفر آن تنظیم شده، اندازه‌گیری کرده و در جدول (۱-۵) یادداشت کنید.

### سوالات

- ۱- یکاهای اصلی را نام برده و روش تعریف آنها را بیان کنید.
- ۲- به نظر شما اندازه‌گیری فواصل بسیار بزرگ نظیر فاصله‌های بین کهکشان‌ها و فواصل بسیار کوچک نظیر فاصله‌های بین اتمی چگونه است؟
- ۳- تخمین قدمت اشیاء باستانی با چه روش‌هایی انجام می‌شود؟
- ۴- به نظر شما دماهای در حدود چند هزار کلوین و فشارهای بین ۱/۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ تور چگونه اندازه‌گیری می‌شوند؟





## جداول

جدول (۱-۱) تعیین خطای صفر کولیس و ریزسنج

مقدار خوانده شده برای صفر کولیس												میانگین =
مقدار خوانده شده برای صفر ریز سنج												میانگین =

جدول (۱-۲) اندازه گیری ضخامت ورقه های کاغذی و فلزی توسط ریزسنج

ضخامت ورقه کاغذی													میانگین =
ضخامت ورقه فلزی													میانگین =

جدول (۱-۳) تعیین حجم نمونه استوانه ای شکل توسط کولیس

قطر داخلی													میانگین =
قطر خارجی													میانگین =
طول													میانگین =
حجم استوانه =													

جدول (۱-۴) اندازه گیری شعاع تحدب شیشه ساعت

	h (mm)	r (mm)	R (mm)
۱			
۲			
۳			
۴			
۵			
			$\bar{R} =$

جدول (۱-۵) اندازه گیری جرم نمونه استوانه ای شکل

جرم نمونه استوانه ای												میانگین =
----------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----------

## آزمایش شماره (۲)

نام آزمایش: ماشین آتود

هدف آزمایش: تحقیق قوانین حرکت به کمک ماشین آتود

وسایل مورد نیاز: دستگاه ماشین آتود، انواع وزنه (معمولی و سربار)

### تئوری آزمایش:

علم دینامیک به بررسی عوامل موثر بر حرکت اجسام می‌پردازد. ایزاک نیوتن در سال ۱۶۶۷ با ارائه قوانین سه‌گانه خود در حرکت، خالق و مبدع این علم بود. قوانین سه‌گانه نیوتن به شرح زیر می‌باشند:

۱- **قانون اول نیوتن:** هر جسمی که در حالت سکون و یا در حال حرکت یکنواخت باشد، به همان حالت باقی می‌ماند مگر آنکه تحت تاثیر عامل یا عوامل خارجی قرار گیرد. نیوتون عامل خارجی را نیرو نامید و طبق این قانونش حالت سکون و حرکت یکنواخت را هم ارز و همسان در نظر گرفت. کلیه ناظرهایی که این قانون برای آنها صادق است یک ناظر لخت یا اینرسی می‌باشند.

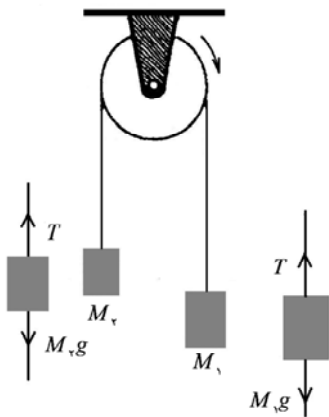
۲- **قانون دوم نیوتن:** هرگاه به جسمی نیروی خالص  $\vec{F}$  وارد شود آن جسم در راستای نیرو شتاب می‌گیرد که شتاب آن با نیرو متناسب است.  
$$\sum_i \vec{f}_i = \vec{F} \propto \vec{a}$$
  
ضریب تناسب رابطه فوق کمیتی به نام جرم است.  
$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (2-1)$$

۳- **قانون سوم نیوتن:** در برابر هر عملی، عکس‌العملی وجود دارد مساوی با آن و در خلاف جهت آن. طبق این قانون هیچ تک نیرویی در جهان یافت نمی‌شود.

دستگاه ماشین آتود شامل یک پایه نگهدارنده است که معمولاً بر روی آن خط‌کشی طویل نصب است. دو وزنه به جرمهای مختلف  $M_1$  و  $M_2$  توسط نخ‌ی نازک بهم متصل شده و از دو طرف قرقره‌ای با جرم ناچیز که در بالای پایه نگهدارنده قرار دارد آویزان می‌شوند. هر گاه جرم وزنه  $M_1$  از جرم وزنه  $M_2$  بیشتر باشد، این وزنه به طرف پایین و وزنه  $M_2$  بطرف بالا حرکت می‌کند. طبق قانون دوم نیوتن معادلات حرکت برای این دو وزنه بصورت زیر بدست می‌آیند:

$$\begin{cases} T_1 - M_1 g = M_1 a_1 \\ T_2 - M_2 g = M_2 a_2 \end{cases} \quad (2-2)$$

در نوشتن این روابط جهت مثبت بطرف بالا انتخاب شده است. با صرف نظر کردن از جرم قرقره و نخ و فرض بدون اصطکاک بودن سیستم و ثابت بودن طول نخ می توان نوشت.  $T_1 = T_2 = T$  و  $a_1 = a_2 = a$  در نتیجه خواهیم داشت



$$\begin{cases} T - M_1 g = -M_1 a \\ T - M_2 g = M_2 a \end{cases} \quad (2-3)$$

از حل دستگاه فوق برای شتاب دستگاه  $a$  و نیروی کشش نخ  $T$  داریم

$$a = \frac{M_1 - M_2}{M_1 + M_2} g, \quad T = \frac{2M_1 M_2}{M_1 + M_2} g \quad (2-4)$$

شکل (۱-۲) نمایی از یک ماشین آتود

با فرض داشتن  $M_1 = M + m$ ،  $M_2 = M$  که  $m$  جرم وزنه سربار است داریم:

$$a = \frac{m}{2M + m} g, \quad T = \frac{2M(M + m)}{2M + m} g \quad (2-5)$$

### روش انجام آزمایش:

قسمت (الف-۲): اندازه گیری شتاب دستگاه ماشین آتود (تحقیق قانون دوم نیوتون)  
 ابتدا توسط سه عدد پیچ تنظیم که در کفه نگهدارنده ستون دستگاه ماشین آتود قرار دارد دستگاه را تنظیم کنید، طوری که پایه نگهدارنده دستگاه در راستای شاغولی باشد. وزنه سربار به جرم  $m$  را به وزنه ای که در سمت حسگرنوری قرار دارد (سمت راست دستگاه)، بیافزایید.  $(M_1 = M + m)$   
 وزنه  $M_1$  را در محل مخصوص نگهداری آن، نزدیک حسگر نوری اول قرار دهید. با رها کردن وزنه توسط ضامن نگهدارنده آن زمان سنج دستگاه شروع به حرکت می کند و با عبور وزنه از مقابل حسگر

نوری دوم زمان سنج متوقف می شود. با داشتن فاصله میان دو حسگر نوری و زمان سقوط می توان شتاب حرکتی دستگاه را بدست آورد.

$$x = \frac{1}{2} at^2 \quad (2-6)$$



شکل (۲-۱) دستگاه ماشین آتود

برای فواصل مختلف میان دو حسگر نوری آزمایش را سه بار تکرار کنید و نتایج را در جدول (۲-۱) یادداشت کنید. با محاسبه میانگین زمان در هر مرحله از آزمایش شتاب را بیابید و با میانگین گیری از شتابهای بدست آمده شتاب نهایی را با مقدار محاسبه شده از رابطه (۲-۵) مقایسه کنید.

#### قسمت (ب - ۲): تحقیق اصل ماند (تحقیق قانون اول نیوتون)

طبق قانون اول نیوتون هر جسمی حالت سکون یا حرکت یکنواخت خود را حفظ می کند مگر آنکه نیروی خارجی خالصی به آن وارد شود. تمایل اجسام به حفظ حالت حرکتی خود را جرم یا اینرسی گویند. عبارتی دیگر جرم یا اینرسی معیاری از مقاومت اجسام در برابر تغییر سرعت می باشد. دستگاه ماشین آتود را تنظیم کرده و وزنه سربار با پهنای بیشتر ( $m$ ) را روی وزنه  $M$  قرار دهید حسگر نوری اول را از محل رها کردن وزنه  $M_1$  در فاصله ۴۰ سانتیمتری قرار دهید. وزنه  $M_1$  را از حالت سکون رها کنید. با رسیدن این وزنه به حسگر نوری اول جرم سربار  $m$  از  $M_1$  جدا می شود و زمان سنج دستگاه شروع به حرکت می کند با عبور وزنه  $M$  از مقابل حسگر دوم زمان سنج متوقف می شود. با تغییر مکان حسگر نوری دوم، دو حسگر نوری را در فواصل مختلف قرار داده و آزمایش را سه بار تکرار کنید با پر کردن جدول (۲-۲) و رسم نمودار  $X$  بر حسب  $t$  رابطه  $x = vt$  را تحقیق کنید.

### سوالات :

- عوامل ایجاد خطا را در این آزمایش بیان کنید.
- در صورتی که در چرخش محور دوران قرقره اصطکاک وجود داشته باشد، فرایندی را برای حذف کردن اثر اصطکاک بیابید.

### جداول

جدول (۱-۲) تعیین شتاب حرکت در دستگاه ماشین آتود

مرحله آزمایش	$x$ (Cm)	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}$	$a_i$ ( $\frac{m}{s^2}$ )
۱						
۲						
۳						
۴						
						$a = \frac{\sum a_i}{\xi} =$

جدول (۲-۲) تحقیق قانون اول نیوتون

مرحله آزمایش	$x$ (Cm)	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}$ (S)	$v_i$ ( $\frac{m}{s}$ )
۱						
۲						
۳						
۴						
						$v = \frac{\sum v_i}{\xi} =$

جهت کسب اطلاعات بیشتر می‌توانید به مراجع [3], [4], [5], [13], [16] مراجعه کنید.

### آزمایش شماره (۳)

نام آزمایش: شتاب گرانشی زمین

هدف آزمایش: تعیین شتاب گرانشی زمین (g) توسط سقوط آزاد اجسام و آونگ ساده

وسایل مورد نیاز: دستگاه سقوط آزاد، دستگاه آونگ ساده، کرومومتر، خط کش و گلوله‌های فلزی

### تئوری آزمایش:

#### قسمت (الف)

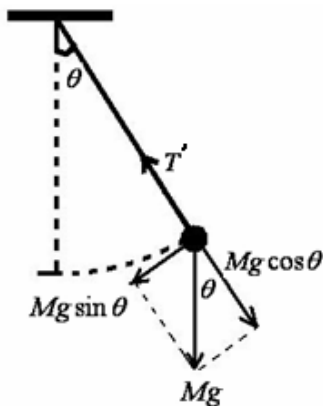
سقوط آزاد اجسام در نزدیکی‌های سطح زمین را می‌توان بطور تقریبی حرکتی شتابدار با شتاب ثابت در نظر گرفت. این تقریب با صرف نظر کردن از عواملی چون مقاومت هوا، چرخش زمین و وابستگی شتاب گرانشی g به ارتفاع و ... محقق می‌گردد. با انتخاب جهت مثبت بطرف بالا معادله مکان هر جسم در حال سقوط را می‌توان بصورت  $y = -\frac{1}{2}gt^2 + V_0t + y_0$  نوشت، اگر جسمی از حالت سکون رها گردد و مکان اولیه آن صفر فرض شود ( $y_0 = 0$ ) خواهیم داشت:

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 \quad (3-1)$$

در این رابطه علامت منفی نشان‌دهنده جهت حرکت می‌باشد.

#### قسمت (ب)

آونگ ساده از یک نقطه مادی تشکیل شده است که توسط نخ‌ی بدون جرم از نقطه ثابتی آویخته شده است و می‌تواند حول این نقطه در یک صفحه قائم نوسان کند. بدین منظور و بطور تقریبی گلوله کوچک و سنگینی را به نخ‌ی بلند و نازک آویزان می‌کنیم.



شکل (۳-۱) نمایی از آونگ ساده

نیروهای وارد بر گلوله، نیروی وزن Mg و نیروی کشش نخ  $T'$  می‌باشند. نیروی وزن دارای دو مؤلفه  $Mg \cos \theta$  در راستای نخ و  $Mg \sin \theta$  در راستای عمود بر نخ می‌باشد. برآیند نیروهای  $T'$  و  $Mg \cos \theta$  شتاب مرکز گرای گلوله را ایجاد می‌کنند و مؤلفه  $Mg \sin \theta$  موجب حرکت تناوبی در امتداد

مسیر حرکت خواهد شد.

$$T' - Mg \cos \theta = M \frac{v^2}{L} \quad \text{معادله حرکت شعاعی}$$

$$-Mg \sin \theta = Ma_t \quad \text{معادله حرکت مماسی}$$

$$\Rightarrow -Mg \sin \theta = ML \frac{d^2 \theta}{dt^2} \Rightarrow \frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{g}{L} \sin \theta = 0$$

برای نوسانات کم دامنه ( $\theta \leq 6^\circ$ ) می توان تقریب  $\theta \cong \sin \theta \cong \tan \theta$  نوشت.

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{g}{L} \theta = 0 \quad (3-2) \quad \text{در نتیجه خواهیم داشت:}$$

جواب معادله دیفرانسیل فوق را می توان بصورت  $\theta = \theta_m \sin(\omega t + \varphi_0)$  نوشت که در آن  $\theta_m$  دامنه زاویه ای،  $\omega$  فرکانس زاویه ای و  $\varphi_0$  فاز اولیه می باشند.

با اعمال تقریب نوسانات کم دامنه  $\theta \cong \sin \theta \cong \frac{x}{L}$  خواهیم داشت.

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{g}{L} x = 0 \Rightarrow x = x_m \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (3-3)$$

در رابطه فوق داریم  $\omega = \frac{g}{L}$  که از آن میتوان زمان تناوب حرکت نوسانی T را بصورت زیر بدست آورد.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (3-4)$$

طبق این رابطه دوره تناوب نوسانات کم دامنه تنها به طول آونگ و شتاب گرانش g در آن نقطه بستگی دارد. چنانچه دامنه حرکت  $\theta_m$  کوچک در نظر گرفته نشود معادله دوره تناوب T از رابطه زیر بدست خواهد آمد.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g} \left( 1 + \frac{\theta^2}{16} + \frac{\theta^4}{64} + \dots \right)} \quad (3-5)$$

که در آن  $\theta$  بر حسب رادیان می باشد.

### روش انجام آزمایش :

**قسمت (الف):** دستگاه سقوط آزاد موجود در آزمایشگاه دارای محلی جهت نگهداری یک گلوله فلزی است. این قسمت شامل یک آهنربای الکتریکی می باشد که با عبور جریان الکتریکی خاصیت آهنربایی در آن ایجاد شده و گلوله فلزی را جذب می کند. با قطع جریان گلوله فلزی رها شده و سقوط می کند. همزمان با رها شدن گلوله، کرومومتر متصل به دستگاه شروع بکار می کند و با عبور آن از مقابل حسگر نوری کرومومتر متوقف شده و زمان سقوط را نشان می دهد. توسط خط کش متصل به

ستون دستگاه می توان فاصله محل سقوط تا حسگر نوری را اندازه گیری کرد و از رابطه  $y = \frac{1}{2} g t^2$

مقدار g را محاسبه نمود



شکل (۳-۲) دستگاه سقوط آزاد اجسام

حسگر نوری را در فاصله ۸۰ سانتی متری از آهنربای الکتریکی قرار دهید و پس از تنظیم دستگاه با زدن دکمه Start و قطع جریان در آهنربای الکتریکی، زمان سقوط را اندازه گیری کنید. آزمایش را ۳ بار انجام دهید و میانگین زمانی را در رابطه  $y = \frac{1}{2}gt^2$  قرار دهید. آزمایش را با تغییر فاصله محل حسگر نوری و آهنربا تکرار نموده و جدول (۳-۱) را پر کنید. از مقادیر شتاب گرانشی  $g$  بدست آمده مقدار شتاب گرانشی میانگین ( $\bar{g}$ ) را محاسبه کنید.

خطای مطلق  $\Delta g$  و خطای نسبی  $\frac{\Delta g}{g}$  را برای هر مرحله از آزمایش محاسبه کرده و در جدول (۳-۱) یادداشت نمایید. با تغییر گلوله فلزی مراحل آزمایش فوق را تکرار نمایید. منحنی  $y$  بر حسب  $t^2$  را رسم کرده و از روی آن نیز مقدار  $g$  را بدست آورید.

**قسمت (ب ۱-۳): تعیین شتاب گرانشی  $g$  در نوسانات کم دامنه:**

طول آونگ ساده را برابر با یک متر قرار دهید و آن را بوسیله نقاله متصل به دستگاه تحت زوایای کوچکتر از ۶ درجه به نوسان در آورید. زمان ۲۰ نوسان را برای هر زاویه توسط کرومومتر اندازه گیری کنید. با محاسبه دوره تناوب  $T$  مقادیر شتاب گرانشی میانگین  $\bar{g}$ ، خطای مطلق  $\Delta g$  و خطای نسبی  $(\frac{\Delta g}{g})$  را برای هر زاویه بیابید و جدول (۳-۲) را پر کنید. از اعداد بدست آمده چه نتیجه ای می گیرید؟

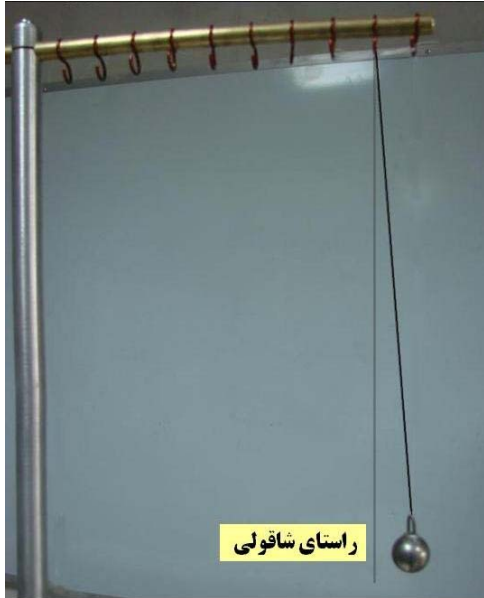
**قسمت (ب ۲-۳): تعیین شتاب گرانشی  $g$  در نوسانات با دامنه بلند:**

طول آونگ را برابر با یک متر اختیار کرده و آن را تحت زوایای بزرگتر از ۶ درجه به نوسان در آورید. شبیه قسمت (ب ۱-۳) زمان تناوب  $T$  را برای هر زاویه اندازه گیری کرده و از روی آن



مقادیر  $\bar{g}$  ,  $\Delta g$  ,  $\frac{\Delta g}{\bar{g}}$  را محاسبه کنید. (توجه کنید که  $\theta$  بر حسب رادیان باشد). به روش

لگاریتمی خطای نسبی  $\frac{\Delta g}{g}$  را با استفاده از تساوی  $T^2 = 4\pi^2 \frac{L}{g}$  محاسبه کنید



شکل (۳-۳) آونگ ساده

نمودارهای  $T$  و  $T^2$  را بر حسب طول آونگ  $L$  در یک دستگاه مختصات رسم کنید. این دو نمودار همدیگر را در نقطه‌ای قطع می‌کنند. خصوصیت این نقطه چیست؟

### سوالات:

- عوامل تولید خطا در این آزمایش را بیان کنید.
- مقادیر  $\Delta g$  و  $\frac{\Delta g}{\bar{g}}$  را به روش لگاریتمی محاسبه کنید
- برای یک حرکت نوسانی ساده نشان دهید که زمان تناوب از رابطه  $T = 2\pi \sqrt{\frac{-x}{a}}$  بدست می‌آید که در آن  $x$  بعد حرکت و  $a$  شتاب حرکت است. (توجه علامت زیر رادیکال چیست؟)
- هرگاه شعاع گلوله  $r$  و طول نخ  $L'$  باشد نشان دهید طول آونگ ساده در رابطه  $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$  را باید بصورت  $L = L' + \frac{2r^2}{5L'}$  نوشت.

۵. آونگ ساده‌ای از یک کره تو خالی حاوی آب ساخته شده است. آب از سوراخ کوچکی در انتهای کره آرام آرام خارج می‌شود. اگر این کره را به نوسان درآوریم دوره تناوب آن نسبت به زمان چگونه تغییر می‌کند؟

### جداول

جدول (۳-۱) تعیین شتاب گرانشی زمین توسط دستگاه سقوط آزاد اجسم

$y$ (Cm)	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}$ (s)	$g$ $m/s^2$	$\Delta g$	$\frac{\Delta g}{\bar{g}}$
۸۰							
۹۰							
۱۰۰							
۱۱۰							
۱۲۰							
۱۳۰							
					$\bar{g} =$		

جدول (۳-۲) تحقیق نقش نوسانات کم دامنه در تعیین شتاب گرانشی زمین توسط آونگ ساده

$\theta_m$	زمان ۲۰ نوسان	<b>T</b>	$T^2$	$g$	$\Delta g$	$\frac{\Delta g}{\bar{g}}$
$2^\circ$						
$4^\circ$						
$6^\circ$						
				$\bar{g} =$		

جدول (۳-۳) تحقیق نقش نوسانات با دامنه بیش از ۶ درجه در تعیین شتاب گرانشی زمین توسط آونگ ساده

$\theta_m$	زمان ۲۰ نوسان	<b>T</b>	$T^2$	$g$	$\Delta g$	$\frac{\Delta g}{\bar{g}}$
$15^\circ$						



آزمایشگاه فیزیک پایه (۱) - آزمایش شماره (۳)

۳۰°						
۴۵°						
۶۰°						
				$\bar{g} =$		

جدول (۳-۴) تعیین شتاب گرانشی توسط آونگ ساده

$L$ (Cm)	زمان ۲۰ نوسان	T	$T^2$	$g$	$\Delta g$	$\frac{\Delta g}{\bar{g}}$
۲۰						
۳۰						
۴۰						
۵۰						
۶۰						
۷۰						
۸۰						
۹۰						
۱۰۰						
۱۱۰						
				$\bar{g} =$		

جهت آشنایی و کسب اطلاعات بیشتر می‌توانید به منابع [3], [5], [8], [14], [16] مراجعه کنید.



**آزمایش شماره (۴)**

**نام آزمایش:** برخوردها

**هدف آزمایش:**

**وسایل مورد نیاز:** دستگاه ریل هوا، زمان سنج دیجیتال و حسگرهای نوری، وزنه‌های مختلف

**تئوری آزمایش:**

قسمت (الف) برخوردهای کشسان: دو جسم با جرمهای  $m_1$  و  $m_2$  در نظر بگیرید که با سرعتهای  $v_1$  و  $v_2$  بطرف یکدیگر حرکت و باهم برخورد می‌کنند. در صورتیکه مجموع انرژی جنبشی دو جسم پس از برخورد برابر مجموع انرژی جنبشی آنها پیش از برخورد باشد، برخورد را کشسان و در صورتیکه مجموع انرژی جنبشی دو جسم پس از برخورد کمتر از مجموع انرژی جنبشی آنها پیش از برخورد باشد، برخورد را ناکشسان گویند. اگر دو جسم پس از برخورد به یکدیگر بچسبند و باهم حرکت کنند برخورد را کاملاً غیر کشسان می‌گویند. فرض دو جسم باهم برخورد مستقیم کشسان داشته باشند.

بنا به قانون دوم نیوتون داریم:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt}$$

چون تغییر تکانه خطی نسبت به زمان خیلی زیاد است یعنی در زمان بسیار کوتاهی تغییرات زیادی در تکانه خطی پیدا می‌شود، می‌توان از نیروهای دیگر در مقابل نیروی ضربه‌ای صرف‌نظر کرد و رابطه فوق را بدین گونه نوشت:

$$\vec{F}dt = d(m\vec{v})$$

به  $\vec{F}dt$  ضربه گویند. با انتگرالگیری از رابطه فوق داریم:

به هر دو جسم بنا به قانون سوم نیوتون نیروی ضربه‌ای مساوی و در خلاف جهت یکدیگر وارد می‌شود. با انتگرال گیری از رابطه فوق برای هریک می‌توان نوشت:

$$\int_{v_1}^{v_1'} \vec{F}dt = \int_{v_2}^{v_2'} m_2 d\vec{v} \quad , \quad - \int_{v_2}^{v_2'} \vec{F}dt = \int_{v_1}^{v_1'} m_1 d\vec{v}$$

در این قسمت با انتگرالگیری و جمع دو رابطه داریم:

$$m_1 \vec{v}_1 - m_1 \vec{v}_1' - m_2 \vec{v}_2' + m_2 \vec{v}_2 = 0 \quad (۴-۱)$$

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}_1' + m_2 \vec{v}_2'$$

به عبارت دیگر تکانه خطی این سیستم دوجرمی قبل از برخورد مساوی تکانه خطی بعد از برخورد می‌باشد که به این رابطه اصل بقای تکانه خطی گویند.

در صورتیکه برخورد صدمدرصد کشسان باشد می‌توان نوشت:



$$\frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2 = \frac{1}{2}m_1v_1''^2 + \frac{1}{2}m_2v_2''^2$$

$$m_1(v_1' - v_1'') = m_2(v_2'' - v_2')$$

همچنین طبق اصل بقای تکانه خطی داریم:

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2'$$

با ترکیب دو رابطه داریم:

$$v_1 - v_2 = v_2' - v_1' \Rightarrow -\left(\frac{v_2' - v_1'}{v_2 - v_1}\right) = 1$$

یعنی سرعت نسبی بعد از برخورد دو جسم مساوی سرعت نسبی دو جسم قبل از برخورد با علامت منفی می باشد. مقدار عبارت فوق را ضریب بازگشت ( $e$ ) می نامند که برای برخوردهای صدم درصد کشسان یک می باشد و برای برخوردهای کاملاً غیر کشسان صفر است. برای سایر حالتها این ضریب بین

$$-\left(\frac{v_2' - v_1'}{v_2 - v_1}\right) = e \quad (4-2) \quad \text{صفر و یک است.}$$

در برخورد کشسان بین دو جسم که جرمهای  $m_1$  و  $m_2$  دارند، انرژی جنبشی و تکانه خطی پایسته می ماند.  $P_1$  و  $P_2$  تکانه خطی اجسام قبل از برخورد و  $P_1'$  و  $P_2'$  تکانه خطی بعد از برخورد هستند، داریم:

$$\frac{P_1^2}{2m_1} + \frac{P_2^2}{2m_2} = \frac{P_1'^2}{2m_1} + \frac{P_2'^2}{2m_2} \quad (4-3)$$

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}_1' + \vec{P}_2'$$

باتوجه به حرکت یک بعدی، علایم برداری را حذف می کنیم. خواهیم داشت:

$$P_1' = -\frac{m_2}{m_1 + m_2} P_1, \quad P_2' = -\frac{2}{1 + \frac{m_1}{m_2}} P_1$$

**قسمت (ب) برخوردهای غیر کشسان:** دو جسم با جرمهای  $m_1$  و  $m_2$  که سرعتهای آنها قبل از برخورد

بترتیب  $v_1$  و  $v_2$  باشند را در نظر می گیریم. فرض می کنیم بعد از برخورد این دو جسم بهم چسبیده و تشکیل یک جسم واحد را بدهند و هر دو جسم دارای سرعت  $V$  شوند. این برخورد را غیر کشسان

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = (m_1 + m_2)\vec{V} \quad (4-4)$$

می نامند. بر اساس قانون بقای تکانه خطی داریم:

در این نوع برخورد مقداری از انرژی جنبشی دو جسم از بین می رود و صرف تغییر شکل، یعنی چسبیدن دو جسم می شود. اتلاف نسبی انرژی بطریق زیر محاسبه می شود.

$$E' = \frac{E_1 - E_2}{E_1} = \frac{[\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2] - (\frac{1}{2}(m_1 + m_2)V^2)}{\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2}$$

با فرض ساکن بودن جسم  $m_2$  یعنی  $v_2 = 0$  و قرار دادن رابطه (۴-۴) در رابطه بالا داریم:

$$E' = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \quad (۴-۵)$$

در نتیجه اتلاف انرژی جنبشی از رابطه فوق بدست می آید. در برخورد غیرکشسان سرعتها بعد از برخورد مساوی هستند و تنها تکانه خطی پایسته می ماند. داریم:

$$P_1' = \frac{1}{1 + \frac{m_1}{m_2}} P_1, \quad P_2' = \frac{1}{1 + \frac{m_1}{m_2}} P_1 \quad (۴-۶)$$

با استفاده از تکانه  $P$  می توان انرژی بعد از برخورد را محاسبه کرد. بر طبق رابطه  $E = \frac{P^2}{2m}$  داریم:

$$E_1' = \frac{1}{(1 + \frac{m_2}{m_1})^2} E_1, \quad E_2' = \frac{1}{(1 + \frac{m_1}{m_2})^2} \frac{m_1}{m_2} E_1 \quad (۴-۷)$$

## روش انجام آزمایش

### قسمت (الف-۱) تحقیق اصل بقای تکانه خطی در برخورد کشسان

دو جسم  $A$  و  $B$  را پس از توزین روی ریل هوا قرار دهید بطوریکه جسم  $B$  ساکن و در فاصله بین دو حسگر نوری باشد. به کمک دستگاه ضربه زن جسم  $A$  را به حرکت در آورید، چون جسمها روی بالشتکی از هوا حرکت می کنند اصطکاک تقریباً ناچیز است و حرکت با سرعت ثابت انجام می گیرد. زمان سنج دیجیتالی ۴ زمانه، زمانی را که طول می کشد تا سد نوری حسگر را طی کند ثبت می کند و با توجه به طول سد نوری می توان سرعت جسم را محاسبه کرد، وقتی جسم  $A$  به جسم  $B$  برخورد می کند جسم  $A$  از حرکت می ایستد و جسم  $B$  شروع به حرکت می کند. برای جسم  $B$  نیز به همین طریق سرعت بعد از برخورد آن را بدست آورید. آزمایش باید طوری انجام شود که برخوردها بین دو حسگر صورت گیرد تا حسگرها بتوانند بطور دقیق زمانها را ثبت کنند. آزمایش را تکرار نموده و نتایج را در جدول (۴-۱) یادداشت کنید و رابطه اصل بقای تکانه خطی را تحقیق کنید. جرم  $A$  را ثابت بگیرید و جرم جسم  $B$  را تغییر دهید. منحنی مربوط به تکانه بعد از برخورد را بر حسب تابعی از نسبت جرمها  $(\frac{m_A}{m_B})$  رسم کنید. هر دو منحنی  $P_A'$  و  $P_B'$  را در یک نمودار رسم کنید، سپس پایستگی



تکانه خطی را بررسی کنید. منحنی مربوط به انرژی بعد از برخورد را برحسب تابعی از نسبت جرم جسمها رسم کنید.

**قسمت (الف-۲):** جرمهای A و B را روی ریل هوا قرار دهید بطوریکه جرمها پشت حسگرها قرار گیرند. به جسمها ضربه‌ای وارد کنید تا شروع به حرکت کنند. پس از عبور سدهای نوری از حسگرها، زمان سنج زمانها را ثبت می‌کند. دو جسم با یکدیگر برخورد می‌کنند و پس از برخورد از هم دور می‌شوند و مجدداً زمانها توسط زمان‌سنج ثبت می‌شود. با استفاده از زمانهای ثبت شده و طول سدهای نوری می‌توانید سرعت جسمها را قبل از برخورد و بعد از برخورد بدست آورید. اصل بقای تکانه خطی را تحقیق کنید. آزمایش را برای جرمهای مساوی و جرمهای مختلف تکرار کنید. اعداد خود را در جدول (۲-۴) نوشته و اصل بقای تکانه خطی را تحقیق کنید.

### قسمت (ب) تحقیق اصل بقای تکانه خطی در برخورد کاملاً غیر کشسان

جسم A را در ابتدای مسیر قرار دهید و سپر سوزنی را به آن وصل نمایید، جسم B را در یک نقطه دلخواه مابین دو حسگر نوری قرار دهید و سپر پارافینی را به آن وصل کنید. بوسیله دستگاه ضربه زن به جسم A ضربه‌ای وارد کنید تا به سمت B حرکت کند. هنگامیکه جسمها با یکدیگر برخورد می‌کنند سپر سوزنی جسم A داخل سپر پارافینی جسم B قرار می‌گیرد و جسمها بهم چسبیده و با هم حرکت می‌کنند. با عبور سد نوری جسم A از مقابل حسگر نوری اول، زمانسنج زمان را ثبت می‌کند. مانند قبل با داشتن طول سد نوری و زمان ثبت شده به راحتی می‌توانید سرعت A را پیش از برخورد بدست آورید ( $v_A$ ). چون برخورد از نوع کاملاً غیر کشسان است سرعتهای دو جسم بعد از برخورد یکی خواهد بود. به روش قبل با داشتن طول سد نوری و زمان ثبت شده سرعت بعد از برخورد را بدست آورید. لازم به ذکر است که زمان محاسبه شده در حرکت سد نوری جسم B تقریباً برابر با زمان محاسبه شده در حرکت سد نوری جسم A است. با اندازه‌گیری جرمهای جسم A و B جدول زیر را کامل کرده و رابطه (۴-۴) را تحقیق نمایید. با محاسبه اتلاف انرژی از رابطه (۴-۵) آنرا با مقدار محاسبه شده از رابطه (۴-۴) مقایسه کنید.

جرم جسم را ثابت گرفته، منحنی مربوط به تکانه بعد از برخورد را برحسب تابعی از نسبت جرم جسمها  $\left(\frac{m_A}{m_B}\right)$  رسم کنید. منحنی انرژی بعد از برخورد را برحسب تابعی از نسبت جرم جسمها رسم کنید.

## جداول

جدول (۴-۱) تحقیق اصل پایستگی تکانه خطی در برخورد کشسان

$m_1$	$t_1$	$v_1$	$t_1'$	$v_1'$	$m_2$	$t_2'$	$v_2'$	$e$	$\Delta e$

جدول (۴-۲) تحقیق اصل پایستگی تکانه خطی در برخورد کشسان

$m_1$	$t_1$	$v_1$	$t_1'$	$v_1'$	$m_2$	$t_2$	$v_2$	$t_2'$	$v_2'$	$e$	$\Delta e$

جدول (۴-۳) تحقیق اصل پایستگی تکانه خطی در برخورد کاملاً غیر کشسان

$m_1$	$t_1$	$v_1$	$m_2$	$m_1 + m_2$	$t_1'$	$t_2'$	$V$	$E'$ (نظری)	$E'$ (تجربی)



**آزمایش شماره (۵)**

**نام آزمایش: آونگ فیزیکی**

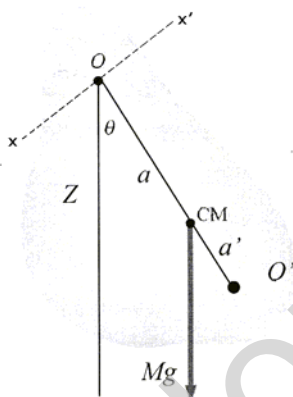
**هدف آزمایش:** محاسبه شتاب گرانشی  $g$  توسط آونگ کاتر، تعیین لختی دورانی آونگ کاتر

**وسایل مورد نیاز:** دستگاه آونگ کاتر، خط کش یا متر نواری، کرومتر

**تئوری آزمایش:**

هر جسمی با هر شکلی که حول محوری نوسان کند را یک آونگ فیزیکی یا مرکب می‌نامند.

اگر آونگ فوق دارای نوسانات کم دامنه باشد، دوره تناوب حرکت آن از رابطه  $T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mga}}$  بدست می‌آید که در آن  $I$  لختی دورانی جسم حول محور نوسان،  $M$  جرم جسم و  $a$  فاصله مرکز جرم جسم تا محور نوسان است. این رابطه بصورت زیر بدست می‌آید.



$$\tau = I\alpha \Rightarrow \tau = I \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

با توجه به تعریف  $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$  خواهیم داشت  
 با اعمال تقریب نوسانات کم دامنه داریم:

$$(\theta \leq 6^\circ \Rightarrow \sin\theta \cong \theta)$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{Mga}{I}\theta = 0 \Rightarrow \frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega^2\theta = 0 \quad (5-1)$$

شکل (۵-۱) آونگ فیزیکی

و با انتخاب  $\omega^2 = \frac{Mga}{I}$  برای زمان تناوب  $T$  حول نقطه  $O$

خواهیم داشت:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mga}} \quad (5-2)$$

می‌توان نقطه‌ای مثل نقطه  $O'$  را در راستای خط واصل نقطه  $O$  و مرکز جرم و در طرف دیگر مرکز جرم جسم یافت، طوری که اگر جسم حول محوری گذرنده از نقطه  $O'$  و موازی محور  $xx'$  نوسان کند زمان تناوب آن با زمان تناوب محور گذرنده از نقطه  $O$  برابر خواهد بود. با یافتن نقطه  $O'$  طوری که  $T_0 = T_{O'}$  باشد، طبق قضیه هویگنس فاصله نقاط  $O$  و  $O'$ ، طول آونگ ساده همزمان با آونگ مرکب خواهد بود و نقاط  $O$  و  $O'$  مراکز نوسان یکدیگر هستند.



طبق قضیه محورهای موازی داریم:

$$\begin{aligned} I_O &= I_{cm} + Ma^x \\ I_{O'} &= I_{cm} + Ma'^x \end{aligned} \quad (۵-۳)$$

اگر  $T_O = T_{O'}$  باشد داریم:

$$\frac{I_{cm} + Ma^x}{Mga} = \frac{I_{cm} + Ma'^x}{Mga'}$$

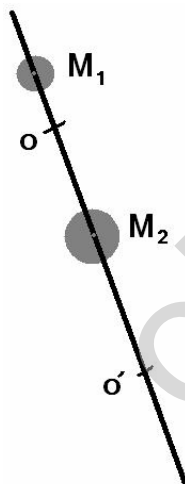
$$I_{cm} = Maa' \quad \text{و در نتیجه خواهیم داشت:}$$

شعاع ژیراسیون حول محوری گذرنده از مرکز جرم بصورت زیر تعریف می گردد.

$$I_{cm} = Mk_{cm}^x = Maa' \Rightarrow k_{cm}^x = aa'$$

با جایگزینی  $I_{cm} = Maa'$  داریم:

$$T_O = T_{O'} = 2\pi \sqrt{\frac{a+a'}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad (۵-۴)$$



که در آن  $\ell = a + a'$  طول آونگ ساده همزمان با آونگ مرکب می باشد.

آونگ کاتر یک آونگ فیزیکی شامل دو وزنه متحرک روی یک میله می باشد که در سال ۱۸۱۸ توسط کاتر برای اندازه گیری دقیق تر شتاب گرانشی  $g$  ساخته شد. در دستگاه آونگ کاتر فاصله دو نقطه  $O', O$  ( $\ell$ ) از هم ثابت است. با تغییر محل وزنه ها، محل مرکز جرم تغییر می کند. می توان با این تغییرات حالتی را بوجود آورد که زمان تناوب نوسانات حول محورهای گذرنده از نقاط  $O', O$  با هم یکسان باشند.

شکل (۵-۲) نمایی از آونگ کاتر

### روش انجام آزمایش :

قسمت (الف - ۵) فاصله دو نقطه  $O', O$  در دستگاه آونگ کاتر موجود در آزمایشگاه یک متر است و دو وزنه  $m_1 = 1000 \text{ gr}$  ,  $m_2 = 1400 \text{ gr}$  روی میله آن متحرک اند. وزنه  $m_1$  را در فاصله ای حدود ۲۰ سانتی متر و وزنه  $m_2$  را در فاصله ۱۰ سانتیمتری از نقطه  $O$  قرار دهید. در این حالت آونگ را به نوسان در آورید و زمان تناوب را حول دو نقطه  $O', O$  اندازه گیری کنید. محل وزنه



$m_1$  را هر مرحله به اندازه ۵ سانتی متر تغییر دهید و دوباره با نوسان آونگ زمان تناوب را حول نقاط  $O, O'$  اندازه گیری کنید. با رسم منحنی های  $T_{O'}, T_O$  بر حسب تغییرات مکان وزنه  $m_1$  میتوان حالتی را یافت که در آن  $T_{O'} = T_O$  است. در این حالت فاصله  $\ell = a + a' = 1m$  را در رابطه  $T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$  قرار داده و از روی آن می توانید  $g$  را محاسبه کنید.

**قسمت (ب-۵)** میله متعلق به دستگاه آونگ مرکب را حول یک سر آن تحت زاویه کوچک به نوسان در آورده و زمان تناوب نوسانات آنرا بدست آورید. با استفاده از رابطه (۲-۵) لختی دورانی این میله را محاسبه کنید. با استفاده از مقادیر جرم و طول میله لختی دورانی را حول یک سر آن و از طریق نظری حساب کنید و با مقدار بدست آمده از آزمایش مقایسه کنید. اعداد بدست آمده را در جدول (۲-۵) یادداشت کنید.

### سوالات:

- ۱- چگونه می توان بدون تغییر مکان مرکز جرم یک آونگ کاتر لختی دورانی آنرا تغییر داد؟
- ۲- چگونه می توان بدون تغییر در مقدار لختی دورانی آونگ ساده مکان مرکز جرم آنرا تغییر داد؟

### جدول

جدول (۱-۵) تعیین شتاب گرانشی توسط آونگ کاتر

فاصله وزنه $m_1$ از نقطه $O$ (cm)	زمان ۲۰ نوسان حول نقطه $O$	زمان ۲۰ نوسان حول نقطه $O'$	$T_O$	$T_{O'}$
۱۰				
۱۵				
۲۰				
.				
.				
.				



جدول (۲-۵) تعیین لختی دورانی برا یک میله یکنواخت حول یک سر آن

مرحله آزمایش	مدت زمان ۲۰ نوسان حول یک سر میله	زمان تناوب حول یک سر میله	لختی دورانی I	مقدار تجربی لختی دورانی ( $\bar{I}$ )	مقدار نظری لختی دورانی
۱					
۲					
۳					

برای آشنایی و کسب اطلاعات بیشتر می توانید به منابع [3], [5], [6] مراجعه نمایید.



### آزمایش شماره (۶)

نام آزمایش: اصطکاک

هدف آزمایش: تعیین ضرایب اصطکاک ایستایی ( $\mu_s$ ) و جنبشی ( $\mu_k$ )

وسایل مورد نیاز: دستگاه سطح شیبدار، وزنه‌های مختلف

### تئوری آزمایش:

وقتی سطوح دو جسم جامد در تماس با یکدیگر قرار گیرند نوعی نیروی جاذبه میان اجزای تشکیل دهنده سطوح دو جسم برقرار می‌شود و پیوندهایی را میان آنها ایجاد می‌کند. بدلیل چنین پیوندهایی موقع حرکت یک جسم روی یک سطح نوعی نیروی مقاوم و مخالف حرکت بوجود می‌آید که ما آن را نیروی اصطکاک می‌نامیم. نیروی اصطکاک میان سطوح اجسام بر دو نوع است.

نیروی اصطکاک ایستایی و نیروی اصطکاک جنبشی

آزمایشهای مختلف نتایج زیر را برای نیروهای اصطکاک بدست داده‌اند.

۱- نیروهای اصطکاک به جنس سطوح در تماس با هم بستگی دارند.

۲- نیروهای اصطکاک متناسب با نیروی عمودی تبدلی میان سطوح است.

۳- در سرعتهای پایین نیروی اصطکاک جنبشی به سرعت نسبی سطوح بستگی ندارد.

۴- در سطوح با مساحت‌های نه چندان کوچک نیروهای اصطکاک به مقدار مساحت سطوح در تماس با هم بستگی ندارند.

برای آشنایی بیشتر با نیروهای اصطکاک آزمایش زیر را طراحی می‌کنیم. مطابق شکل (۱-۶)

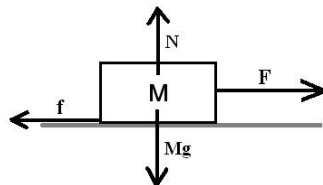
جسمی به جرم  $m$  روی سطح افقی ناصافی قرار دارد به جسم نیروی افقی  $F$  وارد می‌شود. مشاهده می‌شود که جسم حرکت نمی‌کند. نتیجه می‌گیریم که عامل یا نیرویی وجود دارد که از حرکت جسم جلوگیری می‌کند. این نیرو همان نیروی اصطکاک است. نیروی افقی را قدری افزایش می‌دهیم، جسم حرکت نمی‌کند، نتیجه می‌گیریم نیروی اصطکاک نیز افزایش یافته است. بر نیروی  $F$  آنقدر می‌افزاییم تا جسم در آستانه حرکت کردن قرار گیرد. در این حالت نیروی اصطکاک به بیشترین مقدار خود رسیده است. این مقدار نیروی اصطکاک را نیروی اصطکاک ایستایی می‌نامیم و آن را با  $f_s$  نمایش می‌دهیم. می‌توان  $f_s$  را به این صورت نیز عنوان کرد که نیروی اصطکاک ایستایی برابر با کمترین مقدار نیروی لازم برای به حرکت درآوردن جسم است. آزمایشات نشان داده است که نیروی اصطکاک ایستایی با نیروی عکس المل عمودی سطح متناسب است.



$$f_s \propto N \Rightarrow f_s = \mu_s N \quad (۶-۱)$$

و ضریب این تناسب ( $\mu_s$ ) ضریب اصطکاک ایستایی خوانده می شود.

نکته مهم: نیروی اصطکاک ایستایی  $f_s$  تنها در حالت آستانه حرکت تعریف می شود.



شکل (۶-۱) نمودار جسم - آزاد جرم M تحت اثر نیروهای مختلف

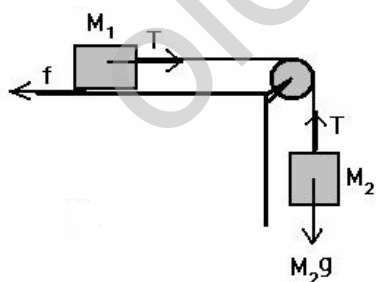
هر گاه جسم روی سطح دارای حرکت باشد بین سطح جسم و سطح زیر آن نیروی اصطکاک بنام نیروی اصطکاک جنبشی بوجود می آید. این نیرو در خلاف جهت حرکت جسم، به جسم وارد می شود و شبیه نیروی اصطکاک ایستایی متناسب با نیروی عکس العمل عمودی سطوح است و ضریب تناسب آن کمیتی به نام ضریب اصطکاک جنبشی است.

$$f_k = \mu_k N \quad (۶-۲)$$

نکته مهم: نیروی اصطکاک جنبشی  $f_k$  تنها همواره در خلاف جهت حرکت است.

برای تعیین ضرایب اصطکاک میان سطح یک جسم و سطح زیر آن روشهای مختلفی وجود دارد که در ادامه به چند نوع از آنها اشاره می کنیم.

**قسمت (الف-۶)** مطابق شکل (۶-۵) هر گاه جرم  $M_1$  دارای مقداری باشد که دستگاه در حالت آستانه حرکت قرار گیرد بگونه ای که با افزایش بسیار کوچک جرم  $M_2$ ، جسم  $M_1$  شروع به حرکت کند خواهیم داشت:



$$T = M_1 g \quad , \quad T = f_s = \mu_s N = \mu_s M_1 g$$

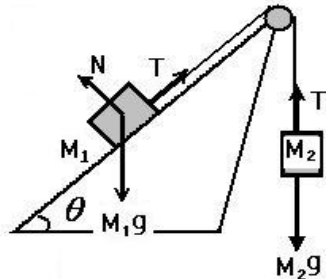
$$\Rightarrow \mu_s = \frac{M_2}{M_1} \quad (۶-۳)$$

شکل (۶-۲) تعیین ضرایب اصطکاک در سطح افق

هر گاه جسم  $M_1$  روی سطح افق دارای حرکتی یکنواخت باشد معادلات بالا باز هم صادق اند. فقط بجای نیروی اصطکاک ایستایی باید نیروی اصطکاک جنبشی را بنویسیم. در این حالت نیز داریم:

$$\mu_k = \frac{M_2}{M_1} \quad (۶-۴)$$

**قسمت (ب - ۶)** در شکل (۶-۶) می توان جرم  $M_2$  را بگونه ای انتخاب کرد تا دستگاه در آستانه حرکت



گیرد. در این حالت وزنه  $M_1$  می تواند آماده حرکت بطرف بالا یا پایین باشد اگر  $M_1$  در شرایط آستانه حرکت به طرف بالا باشد می توان معادلات زیر را برایش نوشت:

شکل (۶-۳) تعیین ضرایب اصطکاک در سطح شیبدار

$$\begin{cases} N = M_1 g \cos \theta \\ T = f_s + M_1 g \sin \theta \end{cases}$$

$$T = M_2 g$$

برای  $M_2$  نیز داریم:

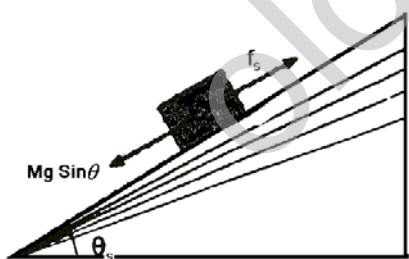
با جایگذاری در روابط بالا خواهیم داشت:

$$\mu_s = \frac{M_2 - M_1 \sin \theta}{M_1 \cos \theta} \quad (6-5)$$

با داشتن جرم وزنه های  $M_1$  ,  $M_2$  و زاویه سطح شیبدار  $\mu_s$  قابل محاسبه خواهد بود. در حالتیکه جرم

$M_1$  با سرعت ثابت به طرف بالا حرکت کند نیز برای  $\mu_k$  داریم.

$$\mu_k = \frac{M_2 - M_1 \sin \theta}{M_1 \cos \theta} \quad (6-6)$$



**قسمت (ج - ۶)**

مطابق شکل (۶-۷) هرگاه زاویه سطح شیبدار را آنقدر

افزایش دهیم تا جسم  $M_1$  در آستانه حرکت بطرف پایین

قرار گیرد در این شرایط برای وزنه  $M_1$  خواهیم داشت.

شکل (۶-۴) تعیین ضرایب اصطکاک به روش

افزایش زاویه در دستگاه سطح شیبدار

$$M_1 g \sin \theta = f_s \Rightarrow \mu_s = \tan \theta_s \quad (6-7)$$

که  $\theta_s$  زاویه سطح شیبدار در حالت آستانه حرکت  $M_1$  است. همچنین اگر جسم  $M_1$  با سرعت ثابت بطرف پایین حرکت کند نیز بدست می آوریم:

$$\mu_k = \operatorname{tg} \theta_k \quad (۶-۸)$$

### روش انجام آزمایش:

قسمت (الف ۶-۶) سطح دستگاه سطح شیبدار را مانند شکل (۶-۵) کاملاً تراز کنید و وزن  $M_1$  را روی سطح قرار داده و آن را توسط نخ به کفه نگهدارنده وزنه‌ها متصل کنید و نخ را از روی قرقره بگذرانید. با قرار دادن وزنه‌هایی در داخل کفه حالتی را بوجود آورید که  $M_1$  از حالت سکون خارج شود کافی است و وزن  $M_1$  کمی از جایش تکان بخورد. با اندازه‌گیری جرم‌های  $M_1$  و  $M_2$  که در آن جرم وزنه‌های داخل کفه + جرم کفه =  $M_2$  ،  $\mu_s$  را محاسبه کنید. با تغییر جرم وزنه  $M_1$  دوباره  $\mu_s$  را محاسبه کنید و از روی آنها  $\mu_s$  نهایی ( $\mu_s$  میانگین) را بیابید. نمودار  $M_2$  بر حسب  $M_1$  را در یک کاغذ میلیمتری رسم کرده و با محاسبه شیب نمودار  $\mu_s$  را محاسبه کنید. مراحل فوق را برای سطح دیگر  $M_1$  (سطح پلاستیکی و سطح پارچه‌ای) تکرار نمایید. برای تعیین  $\mu_k$  کافی است حالتی بوجود آوریم که  $M_1$  با سرعت ثابت روی سطح حرکت کند بدین منظور با زدن لحظه‌ای کلید دستگاه لرزاننده سطح شیبدار میتوان جسم  $M_1$  را به حرکت واداشت.  $\mu_k$  را از تغییر دادن جرم وزنه  $M_1$  برای دو سطح پارچه‌ای و پلاستیکی بدست آورید. همچنین منحنی  $M_2$  بر حسب  $M_1$  را رسم کرده و از روی آن  $\mu_k$  را بیابید.



شکل (۶-۵) دستگاه سطح شیبدار

قسمت (ب ۶-۶) با توجه به شکل (۶-۶) سطح شیبدار را در زاویه ثابتی مثل  $30^\circ$  درجه قرار دهید. و وزنه‌های  $M_1$  و  $M_2$  را روی آن سوار کنید. شبیه قسمت (الف) با قرار دادن وزنه داخل کفه، جسم  $M_1$  را یکبار در آستانه حرکت و بار دیگر در حالت حرکت یکنواخت قرار دهید. مقادیر  $M_1$  و  $M_2$  را

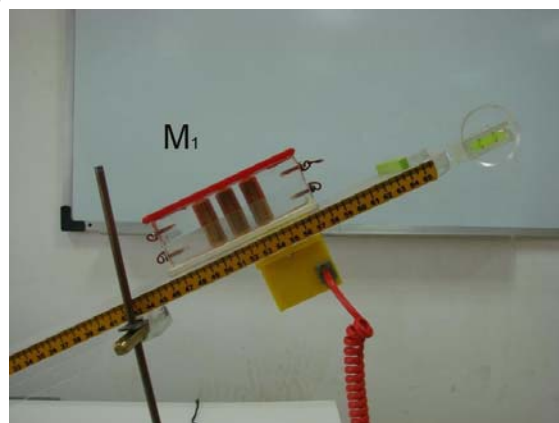


در جدول‌های مربوطه یادداشت کنید و با استفاده از روابط (۵-۶) و (۶-۶) ضرایب اصطکاک  $\mu_k$  ،  $\mu_s$  را برای سطوح پارچه‌ای و پلاستیکی محاسبه کنید.



شکل (۶-۶) دستگاه سطح شیبدار با زاویه شیب ۳۰ درجه

قسمت (ج-۶) مطابق شکل (۷-۶) جرم  $M_1$  را روی سطح شیبدار قرار داده و زاویه سطح را آرام آرام افزایش دهید. وقتی جسم از حالت سکون خارج شد مقدار زاویه را یادداشت کنید ( $\theta = \theta_s$ ) و از روی آن  $\mu_s = \tan \theta_s$  را محاسبه کنید. آزمایش را برای جرمهای مختلف وزنه  $M_1$  و سطوح با جنسهای مختلف (پارچه‌ای و پلاستیکی) تکرار نمایید. برای محاسبه  $\mu_k$  با افزایش زاویه سطح شیبدار ضربات آرامی توسط دست یا لرزاننده دستگاه به سیستم اعمال کنید. وقتی جسم  $M_1$  با سرعت تقریباً ثابت حرکت کرد زاویه سطح شیبدار را یادداشت کنید ( $\theta = \theta_k$ ) و با استفاده از رابطه  $\mu_k = \tan \theta_k$  ، مقدار  $\mu_k$  را بیابید.



شکل (۶-۷) تعیین ضرایب اصطکاک با افزایش زاویه سطح شیبدار

### سوالات:

- ۱) اگر سطحی بیش از حد معینی صیقل داده شود مقاومت اصطکاک بجای کم شدن افزایش می یابد آیا می توانید این موضوع را توضیح دهید.
- ۲) آیا این انتظار نامعقول است که ضریب اصطکاک از یک بیشتر باشد.
- ۳) کتابی را به دیواری تکیه داده و با فشار دست آن را نگهدارید. علت سقوط نکردن کتاب را بیان کنید. هرگاه نیروی دست افزایش یابد، نیروی عکس العمل عمودی وارد بر کتاب از طرف سطح نیز افزایش می یابد. طبق رابطه  $f_s = \mu_s N$  نیروی  $f_s$  نیز افزایش می یابد. چون نیروی وزن ثابت است پس  $f_s > mg$  است. توضیح دهید چرا کتاب بطرف بالا حرکت نمی کند؟

### جداول

جدول (۲-۶) تعیین ضرایب اصطکاک  
 $\mu_k$  و  $\mu_s$  بین سطوح پارچه‌ای و شیشه‌ای  
 در سطح افق

جدول (۱-۶) تعیین ضرایب اصطکاک  
 $\mu_k$  و  $\mu_s$  بین سطوح پلاستیکی و شیشه‌ای  
 در سطح افق

سطح پارچه‌ای					
$M_1$	$M_2$	$\mu_s$	$M_1$	$M_2$	$\mu_k$
		$\overline{\mu_s} =$			$\overline{\mu_k} =$

سطح پلاستیکی					
$M_1$	$M_2$	$\mu_s$	$M_1$	$M_2$	$\mu_k$
		$\overline{\mu_s} =$			$\overline{\mu_k} =$

جدول (۶-۳) تعیین ضرایب اصطکاک

$\mu_s$  و  $\mu_k$  بین سطوح پلاستیکی و شیشه‌ای

در سطح شیب‌دار

جدول (۶-۴) تعیین ضرایب اصطکاک

$\mu_s$  و  $\mu_k$  بین سطوح پارچه‌ای و شیشه‌ای

در سطح شیب‌دار

سطح پارچه‌ای						سطح پلاستیکی																	
$M_1$	$M_2$	$\mu_s$		$M_1$	$M_2$	$\mu_k$		$M_1$	$M_2$	$\mu_s$		$M_1$	$M_2$	$\mu_k$									
$\overline{\mu_s} =$						$\overline{\mu_k} =$						$\overline{\mu_s} =$						$\overline{\mu_k} =$					

جدول (۶-۵) تعیین ضرایب اصطکاک

$\mu_s$  و  $\mu_k$  بین سطوح پلاستیکی و شیشه‌ای

بروش تغییر زاویه سطح شیب‌دار

جدول (۶-۶) تعیین ضرایب اصطکاک

$\mu_s$  و  $\mu_k$  بین سطوح پارچه‌ای و شیشه‌ای

بروش تغییر زاویه سطح شیب‌دار

سطح پارچه‌ای					سطح پلاستیکی														
$M_1$	$\theta_s$	$\theta_k$	$\mu_s$	$\mu_k$	$M_1$	$\theta_s$	$\theta_k$	$\mu_s$	$\mu_k$										
$\overline{\mu_s} =$					$\overline{\mu_k} =$					$\overline{\mu_s} =$					$\overline{\mu_k} =$				

برای آشنایی و کسب اطلاعات بیشتر می‌توانید به منابع [16], [10], [8], [4], [3] مراجعه نمایید.



### آزمایش شماره (۷)

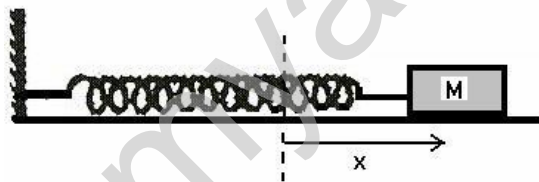
نام آزمایش: فنرها

هدف آزمایش: مطالعه حرکت نوسانی ساده و تحقیق قوانین مربوط به فنرها.

وسایل آزمایش: پایه نگهدارنده فنرها، انواع فنر، خط کش، کرومومتر

### تئوری آزمایش:

یکی از معمولی‌ترین حرکت‌های موجود در طبیعت حرکت نوسانی ساده می‌باشد که از آن می‌توان انواع ارتعاشات صوتی، مکانیکی، الکترومغناطیسی و... را نام برد. در فیزیک مطالعه حرکت ساده یا هماهنگ از اهمیت بالایی برخوردار است. چرا که طبق قضیه فوریه هر حرکت پیچیده‌ای را می‌توان بصورت ترکیبی از انواع حرکت‌های نوسانی ساده بسط داد. معادله دیفرانسیل حرکت نوسانی ساده بصورت  $\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$  است و جواب آن نیز بصورت  $x = A \cos(\omega t + \alpha)$  می‌باشد که در آن  $\omega$  سرعت زاویه‌ای و  $A$  دامنه حرکت خوانده می‌شوند.



شکل (۷-۱) سیستم جرم - فنر

هرگاه وزنه متصل به یک فنر افقی را کمی جابجا و سپس رها کنیم وزنه در راستای افق شروع به حرکتی رفت و برگشتی خواهد کرد. نیروی اعمال شده به وزنه از طرف فنر بصورت  $f = k_1 \Delta x + k_2 \Delta x^2 + \dots$  می‌باشد که بسته به نوع فنر و نوع دقت آزمایش می‌توان جملات با توانهای بالاتر را نیز در نظر گرفت. در این رابطه  $\Delta x$  تغییرات طول فنر از حالت تعادل است ( $\Delta x = x - x_0$ ). اگر نیروی بازگرداننده فنر را تنها تابعی از توان اول جابجایی فرض کنیم و با در نظر گرفتن  $x_0 = 0$ ،  $k_1 = -k$  خواهیم داشت:  $f = -kx$  به این رابطه قانون هوک گویند و  $k$  ضریب سختی فنر است. علامت منفی نیز به این دلیل آورده شده است که نیروی بازگرداننده فنر در خلاف جهت جابجایی جسم است. هرگاه فنری از قانون هوک تبعیت کند به آن فنر، فنر ایده‌آل گویند. معادله دیفرانسیل حرکت جسمی متصل به یک فنر ایده‌آل بصورت  $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$  است و در

جواب آن  $(x = A \cos(\omega t + \alpha))$  برای سرعت زاویه ای داریم  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ . مقادیر  $A$  و  $\alpha$  نیز از شرایط اولیه حرکت جسم بدست خواهند آمد. برای زمان تناوب حرکت جسم نیز خواهیم داشت:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (۷-۱)$$

### روش انجام آزمایش:

#### قسمت (الف - ۷): ساخت نیروسنج

فتری را از پایه نگهدارنده آویزان کنید. در کنار آن یک صفحه کاغذی مدرج قرار دهید. محل انتهایی فنر را روی آن علامت بزنید. وزنه ای ۵۰ گرمی به فنر متصل کنید و دوباره محل انتهایی آن را روی کاغذ علامت گذاری کنید. این کار را برای وزنه های ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ گرمی نیز انجام دهید. حال فواصل بین نقاط علامت زده شده را به ۱۰ قسمت مساوی تقسیم کنید. با این کار شما یک نیروسنج با دقت ۵ گرم نیرو ساخته‌اید. این کار را برای فتری با ضریب سختی متفاوت انجام دهید و نتایج خود را با هم مقایسه کنید.

#### قسمت (ب - ۷): تعیین ضریب سختی فنر با استفاده از افزایش طول آن

شبهه قسمت (الف) فتری را از پایه نگهدارنده آویزان کنید. با افزودن یک وزنه به آن مقدار افزایش طول را اندازه گیری کنید. وقتی وزنه در تعادل است نیروی وزن و نیروی بازگرداننده فنر با هم

$$Mg = k\Delta x \Rightarrow k = \frac{mg}{\Delta x} \quad (۷-۲) \quad \text{برابرند. داریم:}$$

از رابطه فوق ضریب سختی فنر بدست می‌آید. این کار را برای وزنه‌های مختلف تکرار کرده و از نتایج آنها ضریب سختی میانگین فنر را بیابید. مراحل فوق را برای ۳ فنر با ضرایب سختی مختلف انجام داده و با پر کردن جدول (۷-۱)، ضریب سختی آنها را حساب کنید.



شکل (۷-۲) افزایش طول فنر بر اثر نیروی وزن کفه نگهدارنده و وزنه های درون آن



**قسمت (ج - ۷): تعیین ضریب سختی فنرها با استفاده از نوسان آنها**

فهر شماره (۱) را از پایه نگهدارنده آویزان کنید و به آن یک وزنه ۵۰ گرمی متصل کنید. هنگامیکه وزنه در تعادل است آن را حدود ۲ تا ۳ سانتی‌متر پایین بکشید و سپس رها کنید. همزمان با رها کردن وزنه کرومومتر را بکار اندازید. مدت زمان ۲۰ نوسان کامل (رفت و برگشت) را اندازه‌گیری کرده و از روی آن زمان یک نوسان کامل (T) را بیابید. این کار را برای چند وزنه دیگر انجام دهید با

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{m}{k} \quad (۷-۳)$$

رسم نمودار  $T^2$  بر حسب  $m$  مقدار  $k$  را بیابید.

آزمایش فوق را برای ۳ فنر دیگر انجام دهید و با پر کردن جداول (۷-۲) ضریب سختی آنها را بیابید.

**قسمت (د - ۷): بهم بندی فنرها**

هر گاه دو فنر با ضرایب سختی  $k'$ ,  $k''$  بطور موازی به هم بسته شوند ضریب سختی معادل آنها از رابطه  $k = k' + k''$  و اگر بصورت متوالی بسته شوند ضریب سختی معادل آنها از رابطه  $\frac{1}{k} = \frac{1}{k'} + \frac{1}{k''}$  بدست می‌آید. برای تحقیق درستی دو رابطه ذکر شده ابتدا دو فنر با طولهای اولیه یکسان را بطور موازی به هم ببندید و شبیه قسمت (ب) ضریب سختی فنر نهایی را بیابید. مقدار بدست آمده را با مقدار محاسبه شده از رابطه نظری مقایسه کنید. جدول (۷-۳)

$$k_e = k_1 + k_2 \quad (۷-۴)$$

دو فنر  $k_1, k_2$  را بطور متوالی (سری) به هم بسته و همانند قسمت (ب) ضریب سختی معادل آنها را اندازه‌گیری کنید و با استفاده از آن رابطه زیر را تحقیق کنید.

$$\frac{1}{k_e} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \quad (۷-۵)$$



شکل (۷-۳) بهم بندی موازی و سری دو فنر



### سوالات:

۱- زمان تناوب فنری که بطور قائم در حال نوسان است با کمیت‌های زیر چگونه تغییر می‌کند؟

الف) جرم متصل به فنر  $m$  (ب) دامنه نوسان  $A$

ج) ثابت فنر  $k$  (د) شتاب گرانشی  $g$

۲) چگونه می‌توانید با داشتن یک فنر، یک وزنه و یک قطعه چوب پنبه چگالی حجمی یک مایع را اندازه‌گیری کنید.

۳) روابط مربوط به بهم‌بندی فنرها ( $k_e = k' + k''$  ،  $\frac{1}{k_e} = \frac{1}{k'} + \frac{1}{k''}$ ) را تحقیق کنید.

۴) هرگاه فنری دارای جرم  $m_s$  باشد برای زمان تناوب داریم  $T = 2\pi \sqrt{\frac{M + \frac{m_s}{3}}{k}}$  با نوشتن انرژی کل

چنین سیستمی رابطه فوق را بیابید. فرآیندی طراحی کنید که توسط آن بتوان جرم مؤثر فنر  $m_e = \frac{m_s}{3}$  را اندازه‌گیری کرده (بدون استفاده از ترازو).

### جداول

جدول (۷-۱) تعیین ضریب سختی فنرها بروش افزایش طول آنها

$M_{(gr)}$	فنر شماره (۱)		فنر شماره (۲)		فنر شماره (۳)		فنر شماره (۴)	
	$\Delta x$	$k$	$\Delta x$	$k$	$\Delta x$	$k$	$\Delta x$	$k$
۵۰								
۱۰۰								
۱۵۰								
۲۰۰								
		$\bar{k}_1 =$		$\bar{k}_2 =$		$\bar{k}_3 =$		$\bar{k}_4 =$



آزمایشگاه فیزیک پایه (۱) - آزمایش شماره (۷)

جدول (الف ۲-۷) تعیین ضریب سختی فنرها بروش نوسان آنها

$M_{(gr)}$	فتر شماره (۱)				فتر شماره (۲)				
	زمان ۲۰ نوسان	$T$	$T^2$	$k$	زمان ۲۰ نوسان	$T$	$T^2$	$k$	
۵۰									
۱۰۰									
۱۵۰									
۲۰۰									
				$k_1 =$					$k_2 =$

جدول (ب ۲-۷) تعیین ضریب سختی فنرها بروش نوسان آنها

$M_{(gr)}$	فتر شماره (۳)				فتر شماره (۴)				
	زمان ۲۰ نوسان	$T$	$T^2$	$k$	زمان ۲۰ نوسان	$T$	$T^2$	$k$	
۵۰									
۱۰۰									
۱۵۰									
۲۰۰									
				$k_3 =$					$k_4 =$

جدول (۳-۷) تعیین ضریب سختی معادل در بهم بندی فنرها

بهم بندی سری دو فتر			بهم بندی موازی دو فتر		
$M_{(gr)}$	$\Delta x$	$k_e$	$M_{(gr)}$	$\Delta x$	$k_e$
۵۰			۵۰		
۱۰۰			۱۰۰		
۱۵۰			۱۵۰		
۲۰۰			۲۰۰		
		رابطه نظری			رابطه نظری
		$\bar{k}_e =$			$\bar{k}_e =$
		$k_e =$			$k_e =$

برای آشنایی و کسب اطلاعات بیشتر می توانید به مراجع [14], [6], [5], [3] مراجعه نمایید.





### آزمایش شماره (۸)

نام آزمایش: گرما سنجی (کالریمتری)

هدف آزمایش: اندازه گیری برخی کمیت‌های حرارتی توسط کالریمتر

وسایل مورد نیاز: کالریمتر، هیتر (گرمکن)، دماسنج، ترازو، منبع تغذیه، ولت متر، آمپر متر

### تئوری آزمایش:

در ترمودینامیک آنچه که از نظر حرارتی و گرمایی مورد مطالعه قرار می‌گیرد یک سیستم است. کلیه عوامل خارجی که می‌توانند با این سیستم بر هم کنش داشته باشند نیز محیط نامیده می‌شوند. بین یک سیستم و محیط اطراف آن همواره برهم کنش وجود دارد. برهم کنش متقابل میان یک سیستم و محیط اطراف آن انتقال انرژی است که این انتقال می‌تواند بصورت انجام کار و یا انتقال گرما باشد. در سیستم‌های ایزوله یا عایق بندی شده برهم کنش متقابل میان یک سیستم و محیط بسیار ناچیز یا صفر است. فلاسک‌های مرغوب معمولاً چنین‌اند. هرگاه دو سیستم A و B دارای دماهای متفاوتی از هم باشند بخشی از انرژی، میان آنها به صورت انرژی گرمایی مبادله می‌شود و این تبادل تا همدم شدن دو سیستم ادامه می‌یابد. اگر  $T_A > T_B$  باشد گرما از سیستم A به سیستم B منتقل می‌شود. اگر  $T_E$  دمای نهایی (تبادل) باشد، داریم:

گرمای گرفته شده = گرمای داده شده

$$M_A C_A (T_A - T_E) = M_B C_B (T_E - T_B) \quad , \quad T_A > T_E > T_B \quad (۸-۱)$$

که در آن  $M_A, M_B$  جرم دو سیستم و  $C_B, C_A$  ظرفیت گرمایی ویژه دو سیستم می‌باشند. طبق تعریف ظرفیت گرمایی ویژه یک جسم عبارت است از مقدار گرمای مورد نیاز برای آنکه دمای واحد جرم آن جسم به اندازه یک درجه سانتیگراد بالا برود. گرما شکلی از انرژی است که صرفاً موقع انتقال معنا پیدا می‌کند و توسط واحدهای ژول و کالری اندازه گیری می‌شود. هر کالری برابر با ۴/۱۸۲ ژول است. از واحدهای بزرگتر نظیر کیلو ژول و کیلو کالری در اندازه گیری گرمای منتقل شده نیز استفاده می‌کنند. کالریمتر یا گرماسنج وسیله‌ای است که فرایندهای حرارتی در داخل آن انجام می‌شود. این دستگاه شامل ظرفی است که از محیط اطراف خود تقریباً عایق بندی شده است و اجزای دیگری نظیر همزن، دماسنج، مقاومت الکتریکی را داراست. این اجزا نیز در تمام فرایندهای حرارتی شرکت دارند و می‌توانند خود به عنوان یک سیستم در نظر گرفته شوند و در معادلات مربوطه تاثیرگذار باشند. به عنوان مثال اگر در کالریمتر قدری آب گرم بیافزایم و دمای دماسنج کالریمتر به اندازه  $\Delta T$  تغییر کند،



بخشی از انرژی گرمایی به اجزای داخل کالریمتر منتقل می‌شود. با توجه به مقدار جرم اجزای داخلی کالریمتر و اینکه این اجزا از جنسهای مختلفی ساخته شده‌اند میتوان گرمای منتقل شده به کالریمتر را به صورت  $\sum m_i c_i \Delta T$  نمایش داد به مقدار  $A = \sum m_i c_i$  ارزش آبی کالریمتر می‌گویند. ارزش آبی کالریمتر عبارت است از مقدار آبی که هم ارزش یک کالریمتر در واکنشهای تعادل گرمایی گرما می‌گیرد. لازم است پیش از انجام هر آزمایشی در کالریمتر مقدار ارزش آبی کالریمتر را داشته باشیم.

### روش انجام آزمایش :

#### قسمت (الف - ۸) تعیین ارزش آبی کالریمتر

ابتدا مقداری آب سرد با جرم و دمای معین در داخل کالریمتر بریزید. برای اینکار اول ظرف داخل کالریمتر را وزن کنید و حدود  $\frac{1}{3}$  از آن را آب سرد بریزید و دوباره آن را وزن کنید. حال از تفاضل دو جرم بدست آمده می‌توانید جرم آب سرد را بیابید. پس از گذشت مدت کوتاهی می‌توانید توسط دماسنجی که در اختیار دارید دمای آب سرد داخل کالریمتر را اندازه‌گیری کنید. حدود یک سوم دیگر از حجم ظرف کالریمتر را از آب گرم با دمای حدود ۷۰ تا ۸۰ درجه سانتیگراد که از قبل تهیه کرده‌اید پر کنید و سپس درب کالریمتر را گذاشته و با همزن آرام آرام محتویات درون کالریمتر را به هم بزنید. وقتی دماسنج روی عدد ثابتی قرار گرفت (دمای تعادل) مقدار آن را یادداشت کنید ( $T_e$ ). با توزین مجدد کالریمتر می‌توانید جرم آب گرم اضافه شده به کالریمتر را بدست آورید.

ظرفیت گرمایی ویژه آب :  $C_w = 1 \text{ Cal/g } ^\circ\text{C}$  جرم آب گرم :  $m_h$

دمای تعادل :  $T_e$

جرم آب سرد :  $m_c$

دمای آب سرد :  $T_c$

دمای آب گرم :  $T_h$



شکل (۸-۱) ظرف کالریمتر همراه با متعلقات آن

نتایج خود را در جدول (۸-۱)

بنویسید. حال با قرار دادن کمیتهای فوق

در رابطه (۸-۲) می‌توانید ارزش آبی

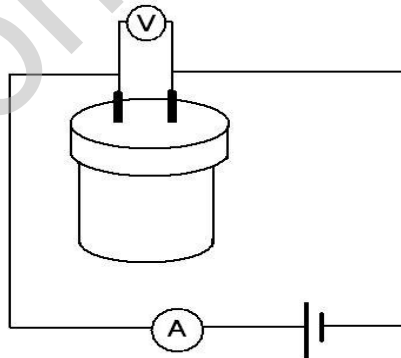
کالریمتر را بیابید

$$m_h C_w (T_h - T_e) = m_c C_w (T_e - T_c) + A (T_e - T_c) \quad (۸-۲)$$

قسمت (ب - ۸) تعیین معادل مکانیکی حرارت به روش الکتریکی

در داخل کالریمتر یک مقاومت الکتریکی (R) تعبیه شده است که اگر در مدت زمان t از آن جریان الکتریکی i بگذرد مقدار گرمای تولید شده در آن برابر است با  $W = Ri^2 t = Vit$ . این مقدار گرما باعث بالا رفتن دمای محتویات داخل کالریمتر و اجزای داخل آن می‌شود. با بدست آوردن W و مقدار گرمای گرفته شده توسط کالریمتر و محتویات داخل آن می‌توانیم نسبت تناسب ژول به کالری یا همان معادل مکانیکی حرارت  $j = \frac{W}{Q}$  که در حدود ۴/۱۸ است را بیابیم. برای این هدف ابتدا کالریمتر را خشک کرده و حدود نیم آن را از آبی سرد و با جرم و دمای معین پر کنید، طوری که مقاومت الکتریکی کاملاً داخل آب قرار گیرد. مدار شکل (۸-۲) را که شامل یک منبع تغذیه، ولت متر و یک آمپر متر است را ببندید. منبع تغذیه را روی ولتاژی بین ۵ تا ۱۰ ولت قرار دهید. همزمان با اتصال کلید، کرونومتر را بکار اندازید. با برقرار شدن جریان الکتریکی در مدار دمای آب داخل کالریمتر شروع به افزایش می‌کند. هرگاه دمای آب سرد حدود ۴ یا ۵ درجه افزایش یافت کلید مدار را قطع و زمان سپری شده را یادداشت کنید. با پر کردن جدول (۸-۲) مقدار معادل مکانیکی حرارت را بدست آورید.

$$J = \frac{W}{Q} = \frac{Vit}{(m_c c_w + A) (T_e - T_c)} \quad (۸-۳)$$



شکل (۸-۲) مدار مربوط به تعیین معادل مکانیکی حرارت بروش الکتریکی

قسمت (ج - ۹) تعیین ظرفیت گرمایی ویژه جامدات

در این قسمت می‌خواهیم ظرفیت گرمایی دو جسم جامد فلزی را تعیین کنیم. برای این کار در ابتدا کالریمتر را خشک کرده و حدود  $\frac{1}{3}$  از حجم ظرف داخل آن را از آب سرد پر کنید. مقدار جرم و دمای آب سرد را تعیین کنید  $m_c$ . جرم وزنه فلزی را توسط ترازو بدست آورید (M). توسط قطعه



نخی وزنه فلزی را در داخل ظرف حاوی آب در حال جوش قرار دهید. توسط دماسنج دمای آب جوش را یادداشت کنید و پس از مدتی وزنه را از آب درآورده و سریعاً آن را به داخل کالریمتر بیندازید. با همزن آب درون کالریمتر را آرام آرام به هم بزنید. دمای آب کالریمتر رفته رفته زیاد می شود، تا در یک دما (دمای تعادل  $T_e$ ) ثابت شود. این دما را یادداشت کنید. با پر کردن جدول (۸-۳) و استفاده از رابطه (۸-۳) ظرفیت گرمایی ویژه وزنه فلزی را محاسبه کنید.

$$MC(T_h - T_e) = m_c c_w (T_e - T_c) + A(T_e - T_c) \quad (8-4)$$

### سوالات

- ۱- به نظر شما ارزش آبی یک فلاسک ایده آل چقدر است؟
- ۲- در این آزمایش دمای آب جوش از ۱۰۰ درجه سانتیگراد کمتر اندازه گیری شد. علت آن را توضیح دهید.

جدول (۸-۱) تعیین ارزش آبی کالریمتر

$m_c$ (gr)	$m_h$ (gr)	$T_c$ (C°)	$T_h$ (C°)	$T_e$ (C°)	A

جدول (۸-۲) تعیین معادل مکانیکی حرارت به روش الکتریکی

$V$ (v)	$I$ (A)	$T$ (s)	$m_c$ (gr)	$T_c$ (C°)	$T_e$ (C°)	j

جدول (۸-۳) تعیین گرمای ویژه گلوله فلزی

$m_c$ (gr)	M (gr)	$T_c$ (C°)	$T_h$ (C°)	C

برای آشنایی و کسب اطلاعات بیشتر می توانید به مراجع [3], [7], [14] مراجعه نمایید

### آزمایش شماره (۹)

نام آزمایش: انبساط طولی جامدات

هدف آزمایش: تعیین ضریب انبساطی طولی فلزات

وسایل مورد نیاز: دستگاه تعیین ضریب انبساط طولی، دماسنج

### تئوری آزمایش:

همه اجسام در اثر تغییر دما، تغییر اندازه می دهند و علت این امر آن است که با تغییر دما ارتعاش اتمهای تشکیل دهنده جسم تغییر کرده در نتیجه فاصله متوسط آنها از یکدیگر تغییر می کند. بنابراین اگر دمای جسمی را بالا ببریم در هر سه بعد آن تغییر طول ایجاد خواهد شد. این تغییر طول در ازای افزایش دما برای اکثر جامدات مثبت و برای برخی از آنها مانند کربن منفی است. تغییر طول در هر بعد از جسم تابعی است از دما، طول بعد و جنس جسم. افزایش طول در یک بعد جسم را انبساط طولی یا خطی گویند. و آنچه در این مورد معرف و ویژگی مربوط به جنس سیم است ضریب انبساط طولی نام دارد و با  $\lambda$  نمایش داده میشود. ضریب انبساط خطی در ابعاد مختلف برخی از جامدات یکسان و برای برخی دیگر غیر یکسان اند. مثلاً در بلور کوارتز ضریب انبساط در امتداد عمود بر محور متقارن و در امتداد موازی با محور متقارن با هم متفاوت اند. طبق تعریف  $\lambda$  عبارت است از تغییر طول نسبی جسم

$$\lambda = \frac{1}{L_0} \frac{\Delta L}{\Delta T} \quad (9-1) \quad \text{به ازای یک درجه سانتیگراد تغییر دما.}$$

ضریب انبساط طولی غالباً خود تابعی از دماست. ولی در یک محدوده تغییرات کوچک دمایی می توان

$$\text{آن را ثابت فرض نمود و رابطه (۱-۱) را به صورت } \lambda = \frac{1}{L_0} \frac{\Delta L}{\Delta T} \text{ نوشت که از آن داریم:}$$

$$\Delta L = L - L_0 = \lambda L_0 (T - T_0) \quad (9-2)$$

در رابطه فوق  $L_0$  طول جسم در دمای  $T_0$  و  $L$  طول جسم در دمای  $T$  است. می توان رابطه بالا را به

$$L = L_0 (1 + \lambda(T - T_0)) \quad \text{صورت روبرو نوشت.}$$

این رابطه را برای دو دمای مختلف  $T_1$  ,  $T_2$  می نویسم و با انتخاب  $T_0 = 0$  داریم:

$$L_2 = L_0 (1 + \lambda T_2) \quad \text{و} \quad L_1 = L_0 (1 + \lambda T_1)$$

حال می توان طول میله در دمای صفر درجه ( $L_0$ ) را از دو رابطه بالا حذف کرد و  $\lambda$  را نتیجه گرفت.

$$\lambda = \frac{L_2 - L_1}{L_1 T_2 - L_2 T_1} \quad (9-3)$$

در این رابطه می توان  $L_1$  را طول جسم در دمای آزمایشگاه و  $L_2$  را طول جسم در دمای نقطه جوش آب در نظر گرفت و از آن ضریب انبساط طولی  $\alpha$  را بدست آورد.

### روش انجام آزمایش:

دستگاه اندازه گیری ضریب انبساط طولی را مطابق شکل (۱-۹) سوار نموده و با اندازه گیری  $L_1$  و محکم نمودن پیچهای دستگاه و صفر نمودن میکرومتر متصل به دستگاه، لوله بخار را به میله وصل نموده و افزایش طول میله را بعد از ثابت ماندن عقربه میکرومتر در محل جدید آن مشخص نمایید. آزمایش را برای ۳ طول مختلف میله‌ای مشخص انجام داده و نتایج را در جدول (۱-۹) یادداشت کنید. با استفاده از رابطه (۳-۹) ضریب انبساط طولی  $\alpha$  را برای میله‌های با جنسهای مختلف و طولهای متفاوت محاسبه و از روی آنها  $\alpha$  را برای هر میله محاسبه نمایید. ضمناً از رابطه  $T = 100 + 0.37(P - 760)$  می توان دمای جوش آب را بدست آورد که در آن  $P$  فشار محیط است. حال با بدست آوردن ضریب انبساط خطی و مراجعه به جدولهای اطلاعاتی مورد نظر می توانید جنس میله‌های مختلف را حدس بزنید.



شکل (۱-۹) دستگاه تعیین ضریب انبساط طولی فلزات

### سوالات

- ۱- واحد ضریب انبساط خطی را بیابید.
- ۲- رابطه (۳-۹) واقع در قسمت تئوری آزمایش را بیابید.
- ۳- هرگاه یک جسم مسطح مستطیل شکل داشته باشیم با افزایش دما، مساحت جسم تغییر می کند. رابطه‌ای برای تغییر مساحت جسم وابسته به تغییر دما بنویسید.
- ۴- رابطه تغییرات دمای نقطه جوش آب به ازای تغییرات فشار را ثابت کنید.

## جداول

جداول (۹-۱) تعیین ضریب انبساط طولی فلزات

میله شماره ۱			میله شماره ۲			میله شماره ۳		
$L_1 (Cm)$	$L_2 (Cm)$	$\lambda_1$	$L_1 (Cm)$	$L_2 (Cm)$	$\lambda_2$	$L_1 (Cm)$	$L_2 (Cm)$	$\lambda_3$
۲۰			۲۰			۲۰		
۴۰			۴۰			۴۰		
۶۰			۶۰			۶۰		
$\bar{\lambda}_1 =$			$\bar{\lambda}_2 =$			$\bar{\lambda}_3 =$		

برای آشنایی و کسب اطلاعات بیشتر می‌توانید به مراجع [3], [4], [7], [8] مراجعه نمایید.

**آزمایش شماره (۱۰)**

**نام آزمایش:** تارهای مرتعش

**هدف آزمایش:** مشاهده امواج ساکن و تحقیق قوانین آنها در تار مرتعش

**وسایل مورد نیاز:** دیپازون الکتریکی، نخ، کفه نگهدارنده وزنه، وزنه های مختلف، ترازو

**تئوری آزمایش**

می دانیم اگر در محیطی قابل ارتعاش ضربات متوالی وارد شود، در آن محیط موج ایجاد می شود که این موج پس از برخورد با یک مانع سخت برگشته و با موج رفت تداخل می کند. در نتیجه وضعیتی در محیط ایجاد می کند که به آن امواج ساکن می گویند. برای تولید امواج ساکن در یک تار کافی است دو نقطه از تار را محکم کرده و آن را به ارتعاش در آوریم. البته لازم بذکر است که امواج ساکن برای هر فرکانسی از ارتعاش تشکیل نخواهند شد. برای ایجاد این امواج باید فرکانس ارتعاشات تار

$$L = n \frac{\lambda}{2} \quad \text{یعنی: } \frac{\lambda}{2} \text{ باشد یعنی:}$$

با توجه به رابطه میان سرعت موج  $v$ ، فرکانس  $f$  و طول موج  $\lambda = \frac{v}{f}$  خواهیم داشت:

$$L = n \frac{v}{2f} \quad \rightarrow \quad f = n \frac{v}{2L} \quad (10-1)$$

همچنین برای سرعت انتشار یک موج در طول یک تار داریم  $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$  که در آن  $F$  نیروی کششی تار و  $\mu$  جرم در واحد طول تار می باشد.

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (10-2)$$

هر گاه فرکانس ارتعاش یک تار ثابت باشد می توان از رابطه فوق تناسب زیر را نتیجه گرفت.

$$\frac{F_1}{\lambda_1^2} = \frac{F_2}{\lambda_2^2} = \text{Cons} \quad (10-3)$$

سپس می توان با تغییر در نیروی کشش  $F$  طول موج امواج ساکن در تار مرتعش را تغییر داد.



شکل (۱۰-۱) تناسب طول تار مرتعش با طول موج در امواج ساکن



### روش انجام آزمایش:

دیپازون الکتریکی را که توسط ترانسفورماتوری با ولتاژ ثانویه حدود ۳ تا ۴ ولت کار می کند را به برق شهر وصل کنید. توسط پیچ تنظیم آن را طوری تنظیم نمایید که مانع از ارتعاش میله قائم که نخ به آن وصل است نشود. سر دیگر نخ را به کفه آویزان وصل کنید. با اندازه گیری جرم چند متر از نخ مورد آزمایش می توانید جرم در واحد طول آن یعنی  $\mu$  را تعیین کنید. حال بدون آنکه وزنه ای به مهره متصل به انتهای نخ آویزان کنید، با قرار دادن وزن مهره بجای  $F$  سعی کنید با جابجایی حرکت متحرک در طول تار یک شکم ایجاد کنید. با اندازه گیری  $L_1 = \frac{\lambda_1}{4}$  فرکانس  $f$  را با استفاده از رابطه (۱-۱) محاسبه و با فرکانس برق شهر مقایسه کنید. آزمایش را برای  $F$  های مختلف (با تفاوت جرمهای یک گرمی) انجام داده و  $f$  را برای هر حالت محاسبه نمایید. با پر کردن جدول (۱۰-۱) رابطه (۱۰-۳) را تحقیق کنید.



شکل (۱۰-۱) دستگاه تار مرتعش

### سوالات

- ۱- ارتعاش نخ در این آزمایش طول است یا عرضی؟
- ۲- در یک تار مرتعشی به طول ۷۵cm سه شکم تولید می شود، طول موج ارتعاش را حساب کنید.



جدول (۱-۱۰) تحقیق رابطه (۳-۱۰)، ثابت بودن  $\frac{F}{\lambda^2}$  با افزایش نیروی کشش تار

ردیف	$\mu$	F	$\lambda$	f	$\frac{F}{\lambda^2}$
۱					
۲					
۳					
۴					
۵					

برای آشنایی بیشتر می‌توانید به منابع [3], [4], [10] مراجعه نمایید.

### آزمایش شماره (۱۱)

نام آزمایش: گرمای نهان ذوب و نهان تبخیر

هدف آزمایش: بدست آوردن گرمای نهان ذوب یخ و گرمایی نهان تبخیر آب.

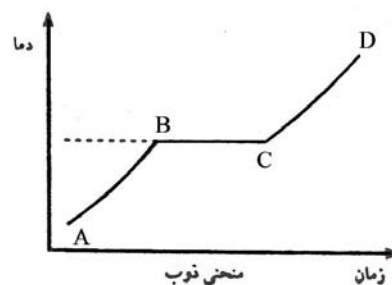
وسایل مورد نیاز:

### تئوری آزمایش

هنگامیکه یک جسم جامد در اثر گرما به مایع و یا مایعی به بخار تبدیل می‌شود، در مدت زمان این تغییر حالت دمای ماده ثابت می‌ماند و تغییر نمی‌کند. انرژی گرمایی که جسم در این مدت می‌گیرد، صرف شکستن پیوندهای میان ذرات تشکیل دهنده ماده مورد نظر می‌شود. بعنوان مثال ممکن است دمای قطعه یخی چند درجه سلسیوس زیر صفر باشد. حال اگر به این قطعه یخ حرارت داده شود و مجموعه‌ای از آب و یخ بوجود آید تا زمانی که تمام یخ آب نشده است، دمایی که دماسنج نشان می‌دهد صفر درجه سانتیگراد خواهد بود. گرمای اعمال شده به این سیستم (آب + یخ) در زمان تغییر حالت یخ به آب صرف ذوب شدن یخ می‌شود و دمای آن بالا نمی‌رود. در اینصورت می‌توان این دمای ثابت را دمای ذوب یخ یا برای هر جسم جامدی آن را دمای ذوب آن جسم در نظر گرفت. گرمای نهان ذوب بصورت مقدار گرمای مورد نیاز برای تبدیل واحد جرم یک جسم از حالت جامد به مایع در دمای ذوب تعریف می‌شود. گرمای نهان ذوب اجسام مختلف از هم متفاوت است. گرمای نهان ذوب یخ در دمای صفر درجه سانتیگراد در حدود ۳۳۲ کیلو ژول بر کیلوگرم یا معادل ۸۰ کیلو کالری بر کیلوگرم است. گرمای نهان ذوب بصورت  $L_F$  نمایش داده می‌شود. در این حال مقدار گرمایی که لازم است تا  $m$  گرم از جسمی بدون تغییر دما ذوب شود برابر است با

$$Q_F = mL_F \quad (11-1)$$

نمودار منحنی ذوب بر حسب دما بصورت شماتیک در شکل زیر آورده شده است.



شکل (۱۱-۱) منحنی ذوب، بین نقاط B و C (موقع تغییر حالت جامد به مایع) دما ثابت است

همچنین هنگامیکه به یک مایع حرارت داده می شود انرژی جنبشی ذرات مایع بالا رفته و مطابق با آن دمای مایع نیز افزایش می یابد. این افزایش دما تا جایی ادامه می یابد که مایع شروع به جوشیدن می کند. در موقع جوش دمای مایع ثابت مانده و گرمای وارد شده به سیستم صرف شکستن پیوندهای ذرات تشکیل دهنده مایع شده و تغییر حالت فیزیکی از مایع به گاز را باعث می شود. مقدار گرمای لازم برای تغییر حالت واحد جرم مایع در دمای ثابت، گرمای نهان تبخیر نام دارد و آن را با  $L_V$  نمایش می دهند. در اینصورت مقدار گرمایی که لازم است تا  $m$  گرم از مایعی بدون تغییر دما تبخیر شود برابر است با

$$Q_V = m L_V \quad (11-2)$$

### روش انجام آزمایش:

#### قسمت (الف - ۱۱) تعیین گرمای نهان ذوب یخ

ابتدا ارزش آبی کالریمتری که در اختیار دارید را بدست آورده و سپس نیمی از آن را آب ولرم بریزید. جرم  $M$  و دمای آب  $T_1$  را اندازه گیری و یادداشت کنید. چند قطعه یخ کوچک را در بشر محتوی آب انداخته و پس از مدتی که آب و یخ در حالت تعادل قرار گرفتند، دمای تعادل آنها را اندازه گیری کنید  $T_0$ . یک قطعه یخ را از داخل بشر بردارید و آن را خشک کنید طوری که قطرات آب روی آن باقی نماند. یخ را فوری داخل گرماسنج بیاندازید و بهم بزنید تا کاملاً ذوب شود و تعادل حرارتی برقرار شود. در این حالت دما پایین می رود و در یک نقطه که دمای تعادل را نشان می دهد متوقف می شود. این دما را یادداشت کنید  $T_E$ . جرم یخ ذوب شده را با می توانید با توزین مجدد کالریمتر بدست آورید ( $m$ ). کلیه اعداد خود را در جدول (۱۱-۱) بنویسید. مقدار گرمایی که در این فرایند حرارتی توسط کالریمتر و محتویات درون آن داده می شود برابر است با:

$$Q_1 = (MC + A)(T_1 - T_E) \quad (11-3)$$

انرژی گرمایی گرفته شده توسط یخ را می توان در دو مرحله نوشت. در مرحله اول یخ تغییر حالت می دهد و از یخ صفر درجه به آب صفر درجه تبدیل می شود. در مرحله دوم آب صفر درجه حاصل از یخ ذوب شده به آب در دمای تعادل  $T_E$  تبدیل می شود. بنابراین داریم:

$$Q_1 = mL_F + mC(T_E - T_0) \quad (11-4)$$

با مساوی قرار دادن گرمای داده شده با گرمای گرفته شده داریم:

$$(MC + A)(T_1 - T_E) = mL_F + mC(T_E - T_0) \quad (11-5)$$

در این رابطه  $C$  نیز ظرفیت گرمایی ویژه آب می باشد. حال با داشتن تمام کمیت های اندازه گیری شده گرمای نهان ذوب یخ  $L_F$  بدست می آید.

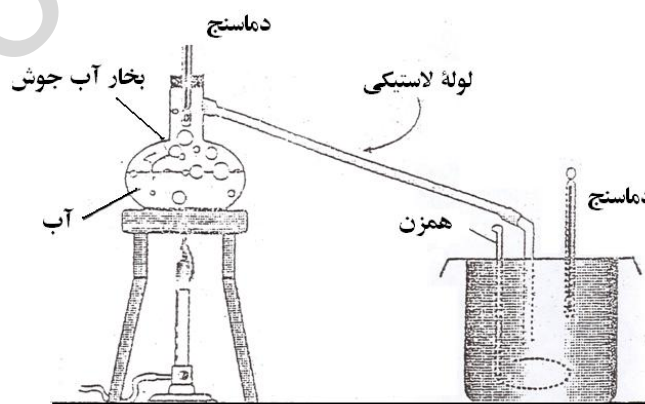
قسمت (ب - ۱۱) تعیین گرمای نهان تبخیر آب

در حدود یک سوم از حجم ظرف درون کالریمتر را از آب پر کرده جرم و دمای آن را اندازه گیری کنید  $(T_1, M)$ . در مخزن تولید بخار مقداری آب بریزید و با اتصال دستگاه مولد بخار به برق صبر کنید تا آب درون آن به جوش آید. دمای بخار تولید شده را توسط دماسنج اندازه گیری  $T_2$  و در جدول (۱۱-۲) یادداشت کنید. مقداری از بخار آب تولید شده با عبور از لوله لاستیکی وارد کالریمتر می شود با تغییر حالت به مایع جرم آب درون کالریمتر افزایش می یابد. با گذشت حدود ۱۰ دقیقه و افزایش حدود چند گرم به جرم آب درون کالریمتر جریان ورودی بخار را قطع کنید و پس از برقراری تعادل حرارتی دمای تعادل را یادداشت کنید  $(T_E)$ . با توزین مجدد کالریمتر می توانید جرم بخار آب وارد شده به کالریمتر را بیابید  $(m)$ . در این آزمایش بخار آب جوش گرما از دست می دهد که میتوان این فرایند را در سه مرحله در نظر گرفت. ابتدا دمای بخار آب از  $(T_2)$  به ۱۰۰ می رسد و سپس بدون تغییر دما تغییر حالت داده و تبدیل به مایع می شود و در نهایت دمای مایع کم شده تا به دمای تعادل  $(T_E)$  برسد. کالریمتر و محتویات درون آن گرما می گیرند و از دمای اولیه  $(T_1)$  به دمای تعادل  $(T_E)$  می رسند. بنابراین داریم:

$$(MC + A)(T_E - T_1) = mL_v + mC'(T_2 - 100) + mC(100 - T_E) \quad (11-6)$$

که در آن  $C'$  گرمای ویژه بخار آب است.

حال با داشتن تمام مقادیر اندازه گیری شده می توانیم مقدار گرمای تبخیر آب را بدست آوریم.



شکل (۱۱-۲) طرحی از دستگاه اندازه گیری گرمای نهان تبخیر آب



### سوالات

- ۱- در آزمایش تعیین گرمای نهان ذوب یخ اگر یخ خشک نشده را به داخل کالریمتر بیاندازیم چه تاثیری در اندازه گیری  $L_F$  خواهد داشت؟
- ۲- فرق تبخیر و جوش را بنویسید.
- ۳- در این آزمایش آیا دمای آب جوش ۱۰۰ درجه سانتیگراد بود؟ اگر پاسخ منفی است، علت آن را بیان کنید.

### جداول

جدول (۱-۱) تعیین گرمای نهان ذوب یخ

$M$ (gr)	$A$ Cal/°C	$T_1$ (°C)	$T_E$ (°C)	$m$ (gr)	$C$ Cal/gr°C	$L_F$ Cal/gr

جدول (۱-۲) تعیین گرمای نهان تبخیر آب

$M$ (gr)	$A$ Cal/°C	$T_1$ (°C)	$T_2$ (°C)	$T_E$ (°C)	$m$ (gr)	$C$ Cal/gr°C	$C'$ Cal/gr°C	$L_V$ Cal/gr

برای آشنایی و کسب اطلاعات بیشتر می‌توانید به منابع [3], [4], [7], [8], [14], [15] مراجعه نمایید.

**آزمایش شماره (۱۲)**

**نام آزمایش:** اصل ارشمیدس

**هدف آزمایش:** تحقیق اصل ارشمیدس

**وسایل مورد نیاز:** ترازو، بشر، استوانه مدرج، کولیس، استوانه برنجی، جسمی با شکل غیر منظم

**تئوری آزمایش:**

اگر جسمی درون سیالی (مایع یا گاز) غوطه‌ور شود، به اندازه وزن سیال هم حجمش سبکتر می‌شود. این بیان ساده‌ای از اصل ارشمیدس است. می‌توان نشان داد که اصل ارشمیدس نتیجه‌ای از قوانین استاتیک شاره‌هاست. به عبارت دیگر هرگاه تمام یا قسمتی از یک جسم جامد در یک سیال در حال سکون غوطه‌ور شود، سیال به هر جزئی از سطح جسم که با آن در تماس است، فشار وارد می‌کند. فشار بر قسمتهایی که در عمق بیشتری قرار دارند، زیادتر است بطوریکه برآیند تمام نیروهای وارد بر سطح جسم، نیرویی به طرف بالاست و باعث کاهش وزن جسم می‌شود. می‌توان نشان داد که این نیروی برآیند به اندازه وزن سیال جابجا شده (وزن سیال هم حجم قسمتی از جسم که در سیال غوطه‌ور است) می‌باشد و جهت آن رو به بالاست. این پدیده اولین بار توسط ارشمیدس زمانی که در پی یافتن راهی برای محاسبه جرم حجمی اجسام با شکل هندسی نامنظم بود کشف شد.

اگر  $\rho_w$  جرم حجمی سیال،  $V$  حجم جسم،  $W_1$  وزن جسم در بیرون از سیال، و  $W_2$  وزن جسم در درون سیال باشد، بر اساس اصل ارشمیدس داریم:

**نیروی ارشمیدس = نیروی وزن ظاهری - نیروی وزن حقیقی**

$$W_1 - W_2 = \rho_w V g \quad (12-1)$$

$V \rho_w g = W_1 - W_2$  همان نیروی ارشمیدس است که از وزن جسم در سیال می‌کاهد. در صورتیکه وزن جسم در بیرون و درون سیال با استفاده از ترازو اندازه‌گیری شود داریم:

$$V \rho_w g = m_1 g - m_2 g \quad (12-2)$$

که در آن  $m_1$  و  $m_2$  به ترتیب جرم اندازه‌گیری شده توسط ترازو برای دو حالت، جسم در بیرون و درون سیال است. پس حجم جسم با اندازه‌گیری غیر مستقیم با استفاده از اصل ارشمیدس از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\rho_w} \quad (12-3)$$

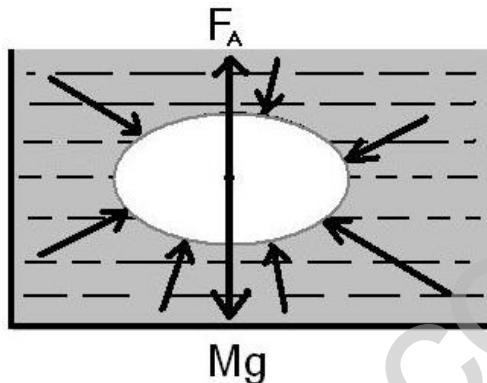
جرم حجمی جسم بنابر تعریف از رابطه زیر بدست می‌آید.



$$\rho = \frac{m_1}{V} \quad (12-4)$$

پس برای جرم حجمی جسم رابطه زیر بدست می آید:

$$\rho = \frac{m_1 \rho_w}{m_1 - m_2} \quad (12-5)$$



شکل (۱۲-۱) نمودار جسم - آزاد جسمی غوطه‌ور در یک سیال  
(نیروی ارشمیدس  $F_A$  از طرف سیال به سمت بالا به جسم اعمال می شود)

### روش انجام آزمایش:

قسمت (الف-۱۲) دستگاه را مانند شکل آماده کنید. ابتدا وزن سیلندر و پیستون را که توسط قلابهایشان به یکدیگر متصل هستند با استفاده از نیروسنج اندازه گیری و ثبت نمایید. حال پیستون را وارد آب بشر کرده به طوری که کاملاً در آب غوطه‌ور شود، عددی که نیروسنج نشان می‌دهد را یادداشت نمایید. در همین حال توسط پیست داخل سیلندر آب بریزید تا کاملاً پر شود. حال عددی را که نیروسنج نشان می‌دهد را یادداشت کنید و تحقیق کنید که نیروی ارشمیدس برابر وزن آب هم حجم جسم می‌باشد. با تعیین وزن ظاهری و حقیقی پیستون و نیروی ارشمیدس درستی رابطه (۱) را تحقیق کنید. نتایج خود را در جدول (۱۲-۱) یادداشت کنید.

قسمت (ب-۱۲) وزن یک استوانه فلزی را در بیرون و درون آب تعیین کنید. توسط مقادیر اندازه‌گیری شده جرم واقعی ( $m_1$ ) و جرم ظاهری ( $m_2$ ) استوانه فلزی را حساب کنید. با اندازه‌گیری ابعاد استوانه چگالی حجمی آنرا یک بار بطور مستقیم از رابطه (۱۲-۴) و بار دیگر با استفاده از رابطه (۱۲-۵) محاسبه و با هم مقایسه کنید. نتایج خود را در جدول (۱۲-۲) ثبت کنید.



**قسمت (ج - ۱۲)** به جای آب از محلول آب و نمک طعام استفاده کنید و قسمت (ب) آزمایش را تکرار نمایید. با دانستن مقادیر جرم و حجم استوانه فلزی چگالی محلول را بدست آورید. چگالی محلول آب نمک را بطور مستقیم اندازه گیری کرده و نتایج خود را باهم مقایسه کنید. جدول (۳-۱۲)

### جداول

جدول (۱-۱۲) تحقیق قانون ارشمیدس در آب

وزن پیستون و سیلندر در بیرون از آب $W_1$	وزن پیستون و سیلندر در درون آب $W_2$	حجم پیستون $V$	$\rho_w$	وزن آب ریخته شده در سیلندر	نیروی ارشمیدس $(\rho_w V g)$

جدول (۲-۱۲) تعیین جرم حجمی استوانه فلزی غوطه‌ور در آب

$(m_1)$	$(m_2)$	$V$	$\rho_w$	$\rho = \frac{m_1}{V}$	$\rho = \frac{m_1 \rho_w}{m_1 - m_2}$

جدول (۳-۱۲) تعیین چگالی محلول آب و نمک

$(m_1)$	$(m_2)$	$V$	$\rho_w$	$\rho_w = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \rho$

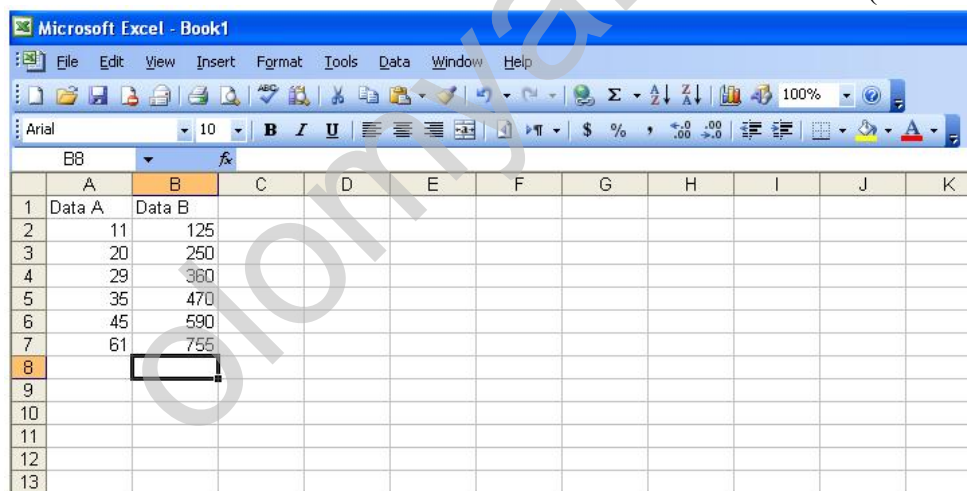
برای آشنایی و کسب اطلاعات بیشتر می‌توانید به منابع [10], [4], [3] مراجعه نمایید.

## پیوست (۱): نحوه رسم نمودار در نرم افزار Excel


نرم افزار اکسل یا صفحات گسترده یکی از زیر مجموعه‌های نرم افزار معروف آفیس (Office) محصول شرکت مایکروسافت است که می‌توانید پس از نصب این نرم افزار از منوی Start ، All Programs ، Microsoft Excel آن را انتخاب کنید. Excel یک برنامه آماری و محاسباتی پیشرفته است که در اکثر ادارات و سازمانها به کار می‌رود. امروزه این نرم افزار با قابلیت‌های چشمگیر خود در زمینه‌های آماری ، نموداری و محاسباتی جزو نرم‌افزارهای پر کاربرد به شمار می‌رود. در این بخش از دستور کار نحوه رسم نمودار در این نرم افزار بطور خلاصه و مختصر آورده شده است.

### نحوه رسم نمودار

در ابتدا اعداد خود را بصورت ستونی در صفحه کاربرگی که اکسل در اختیار شما قرار داده است وارد کنید... بعنوان مثال می‌توانید اعداد زیر را وارد کنید. برچسب ستونهای عددی وارد شده را نیز انتخاب نمایید (Data A , Data B)



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Data A	Data B									
2	11	125									
3	20	250									
4	29	360									
5	35	470									
6	45	590									
7	61	755									
8											
9											
10											
11											
12											
13											

با انتخاب آیکون  Chat Wizard از نوار ابزار، اکسل غالباً از رسم نمودار را در اختیار ما قرار می‌دهد. برخی از غالبها بصورت زیرند.

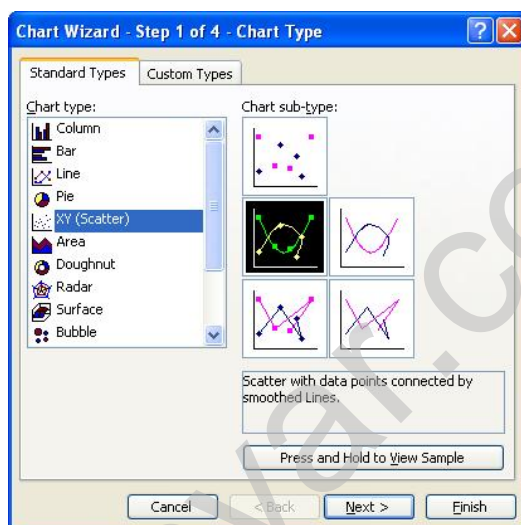
Pie (دایره‌ای) - این نمودار برای نشان دادن نسبت اجزا به کل بکار می‌رود.

Bar (میله‌ای) - از این نوع نمودار برای مقایسه مقادیر در مقطعی از زمان استفاده می‌شود.

Column (ستونی) - مشابه نمودار Bar است. از این نمودار برای تاکید روی اختلاف بین داده‌ها

استفاده می‌شود.

Line (خطی) - این نمودار برای تاکید بر روند و تغییرات مقادیر در طول زمان به کار می‌رود.  
 Scatter (توزیعی) - شبیه یک نمودار خطی است. از این نمودار جهت تاکید بر اختلاف بین دو سری از مقادیر استفاده می‌شود.  
 Area (سطحی) - شبیه نمودار خطی است. از این نمودار برای تاکید بر میزان تغییرات مقادیر در طول زمان استفاده می‌شود.



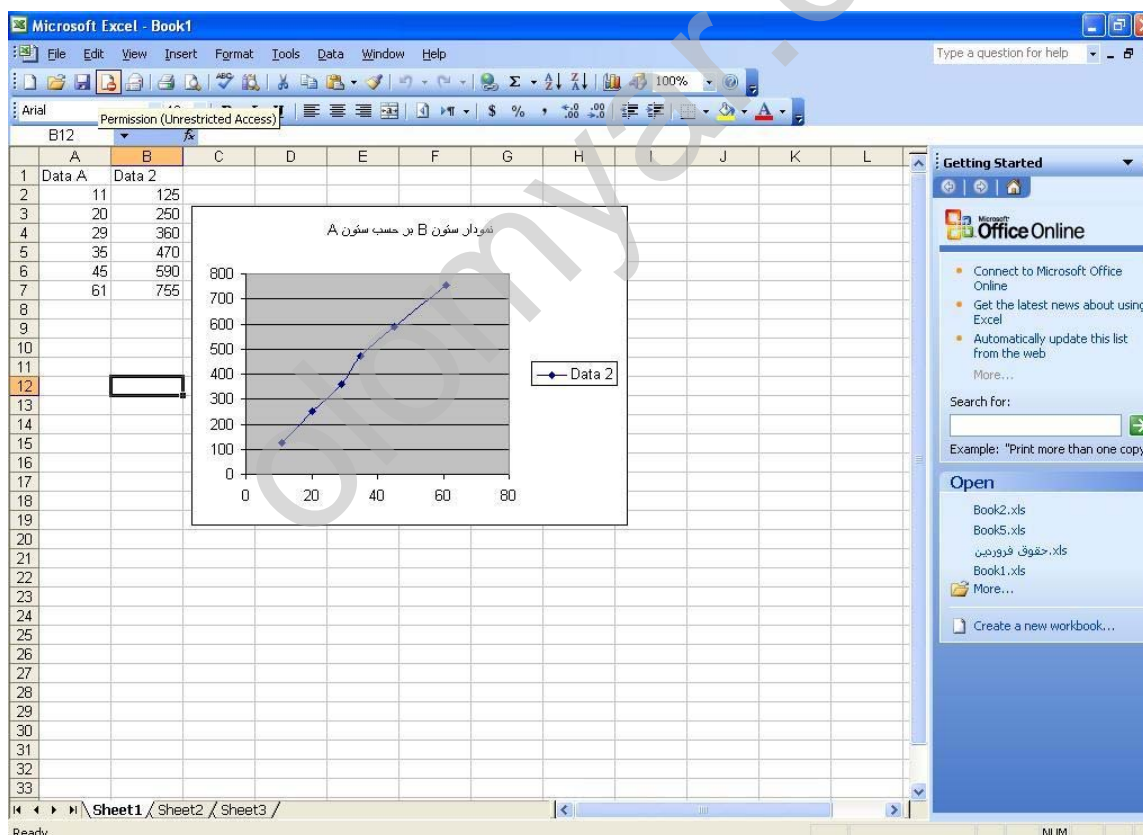
نوع نمودار را انتخاب نمایید. مثلاً (XY Scatter) با زدن کلید next از شما در مورد محدوده اعداد مورد استفاده در رسم نمودار سوال می‌شود. روی آیکون مربوط به گزینه Data Reng کلیک کنید.

در کادر جدیدی که باز می‌شود می‌توانید محدوده اعداد مورد استفاده در نمودار را تایپ کنید. می‌توانید با نگه داشتن دکمه سمت چپ ماوس ستونها و ردیفهای مورد نیاز را مشخص کنید. با کلیک مجدد بر روی آیکون Data Reng نمودار رسم شده نمایان می‌شود. (نمودار ستون Data B بر حسب ستون Data A رسم می‌شود. همچنین در همین مرحله می‌توانید ردیفی یا ستونی بودن نمودار را مشخص کنید. با زدن next پنجره‌ای باز می‌شود که می‌توانید تنظیمات بیشتری را نظیر عنوان نمودار، کمیت محورهای افق و عمودی، خط کشی صفحه نمودار و ... را به دلخواه خود اعمال نمایید.

آزمایشگاه فیزیک پایه (۱) - پیوست (۳)



در نهایت از شما سوال میشود آیا می خواهید نمودار به عنوان یک شی در کاربرگ فعلی ذخیره شود یا نه و Finish را کلیک کنید.




برای تنظیمات بیشتر نمودار می توانید بر روی اجزای نمودار شامل صفحه نمودار، محورها، داده ها و ... کلیک کرده و تغییرات مورد نظر را اعمال کنید.





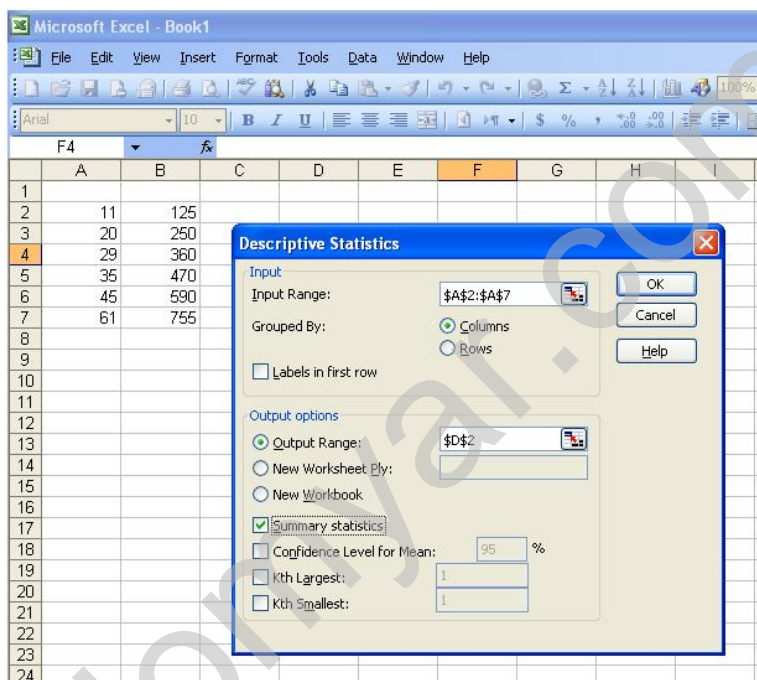
## وارد کردن فرمول ها

نرم افزار اکسل نیز مانند اکثر نرم افزارهای محاسباتی دارای این قابلیت است که شما می توانید در آن فرمول نویسی انجام دهید. بعنوان یک تمرین بسیار ساده ابتدا سلولی از صفحه اکسل را انتخاب کنید ، سپس در قسمتی که روبروی علامت  $f_x$  است عبارت  $=2^3+10$  را تایپ کنید و با زدن Enter ، جواب را که ۱۸ می شود را در سلول مورد نظر مشاهده کنید. می توانید محاسبات خود را روی مقادیر موجود در هر سلول نیز انجام دهید. بدین منظور کافیست آدرس آن سلول را در فرمول نویسی بیاورید. مثلاً می خواهید حاصل جمع دو سلول A1 و B1 را در ستون C1 ببینید. کافیست در سلول C1 ، عبارت  $=A1+B1$  را تایپ کنید. می توانید فرمول نویسی یا عملیات محاسباتی خود را روی مقادیر موجود در هر ستون نیز انجام دهید. برای اینکار کافیست محاسبه خود را روی سلولهایی از ستونهای انتخاب شده انجام دهید و با Copy و paste آن فرمول بر روی سایر سلول محاسبه خود را انجام دهید. برای کپی کردن فرمولی در گروهی از سلولهای مجاور ابتدا سلولی را که شامل فرمول است را انتخاب کرده و سپس نشانگر ماوس را بر روی گزینه کپی قرار دهید. نشانگر ماوس را که به شکل علامت + درآمده است در عرض سلولهایی که می خواهید فرمول را در آنها کپی کنید، بکشید. در اکسل توابع دیگری معرفی شده که می توانید از آنها در کارهای محاسباتی خود استفاده کنید. با کلیک کردن بر روی آیکن  $f_x$  این لیست از توابع در اختیار ما قرار می گیرد. پس از انتخاب تابع و زدن OK باید آدرس سلولهای مورد نظر را وارد کرده و دوباره OK را بزنیم.

## گرفتن اطلاعات آماری از مجموعه ای از مقادیر

در اکسل می توانیم اطلاعات لازم و مفیدی را از میان داده هایی که وارد کردیم، دریافت کنیم را از داده های آزمایشی بگیریم. داده های وارد شده در مثال اول را در نظر بگیرید. از منوی Tools گزینه Data Analysis را انتخاب کنید (اگر چنین گزینه ای وجود نداشت گزینه Add-Ins.. را انتخاب کرده و در پنجره باز شده Analysis Toolpak را علامت بزنید. سپس دکمه OK را فشار دهید. احتمالاً از شما خواسته می شود که سی دی Office را درون درایو قرار دهید). حال در پنجره Data Analysis گزینه Descriptive را انتخاب کنید. در قسمت Input Range آیکن  را انتخاب کنید. نشانگر ماوس را روی A2 آورده و دکمه سمت چپ را نگه داشته سپس اشاره گر را به A7 برده و دکمه ماوس را رها کنید.

دوباره آیکون  را انتخاب کنید تا به پنجره اولیه برگردید. حال در قسمت Output option گزینه Output range را علامت زده سپس آیکون مربوطه را انتخاب کنید سپس D2 را انتخاب کرده و دوباره آیکون  را انتخاب کنید (D2 محل شروع جاییست که اطلاعات مورد نیاز شما را مینویسد). حال Summary statistics را علامت زده سپس OK را فشار دهید. اکنون می‌توانید اطلاعات را ببینید.



برخی از این اطلاعات عبارتند از :

Mean: میانگین داده هاست.

Standard Error: خطای استاندارد  $\sigma_m$ .

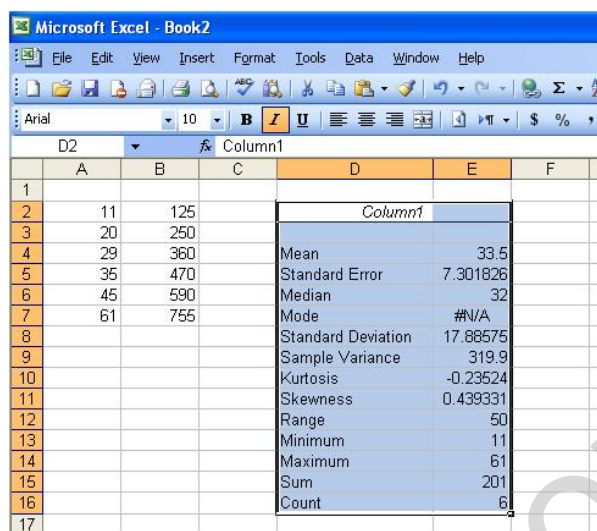
Standard Deviation: انحراف استاندارد  $\sigma$ .

Minimum: کمترین مقدار موجود در داده ها.

Maximum: بیشترین مقدار موجود در داده ها.

Sum: مجموع داده ها.

Count: تعداد ارقام.



	A	B	C	D	E	F
1						
2	11	125				
3	20	250				
4	29	360				
5	35	470				
6	45	590				
7	61	755				
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						

Column1	
Mean	33.5
Standard Error	7.301826
Median	32
Mode	#N/A
Standard Deviation	17.88575
Sample Variance	319.9
Kurtosis	-0.23524
Skewness	0.439331
Range	50
Minimum	11
Maximum	61
Sum	201
Count	6

### قرار دادن مقادیر خطا روی نمودار

ماوس را روی یکی از نقاط رسم شده در روی نمودار برده و کلیک راست کنید. در منویی که باز



می‌شود گزینه... Format Data Series را انتخاب کنید حال به قسمت X Error Bars رفته آیکون

را انتخاب کنید و مقدار خطا را در قسمت Fixed Value بنویسید. همین کار را با Y Error bars انجام داده

و این دفعه آیکون  را انتخاب کنید.

### رسم منحنی های عبوری مختلف از نقاط نمودار

روی یکی از نقاط رسم شده نمودار رفته و کلیک راست کنید سپس گزینه... Add Trendline را

انتخاب کنید. در قسمت Linear، Type را انتخاب کنید یعنی می خواهید یک خط از میان نقاط عبور

دهید. حال به قسمت Option رفته و Display R-squared value on chart و Display equation on chart

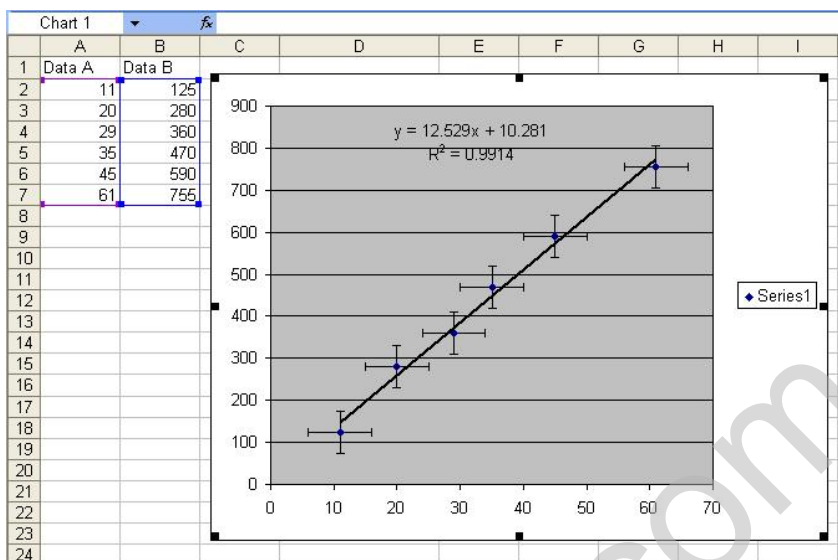
chart را علامت بزنید. سپس دکمه OK را فشار دهید. خط عبوری و معادله آن و مقدار  $R^2$  که معیاری

برای میزان تطبیق کمیات با نمودار می باشد را مشاهده می کنید. می توانید منحنی های دیگری مثل منحنی

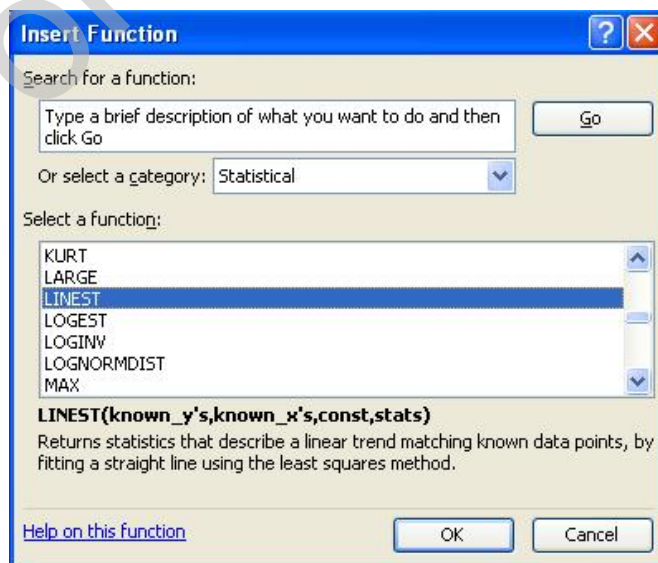
توانی (power) را هم عبور دهید، فقط کافیست در قسمت Type آن را مشخص کنید.



آزمایشگاه فیزیک پایه (۱) - پیوست (۳)



اگر می خواهید خطای  $a$  و  $b$  در خط عبوری ( $y=ax+b$ ) را پیدا کنید ابتدا چهار سلول انتخاب می کنیم. حال آیکون  $f_x$  را می فشاریم در قسمت Statistical، Or select a category را انتخاب و سپس در قسمت Select a function تابع LINEST را انتخاب کرده و OK را فشار دهید. در Known\_y's خانه B2 تا B9 را انتخاب کرده و در Known\_x's خانه های A2 تا A9 را انتخاب می کنیم. در قسمت Const و Stats True بنویسید. حال کلیدهای  $ctrl+shift+enter$  را با هم فشار دهید. ستون اول در سلولهای C مقدار و خطای  $a$  و در سلولهای D مقدار خطای  $b$  را می دهد. نکته: اگر Const را برابر false قرار دهید، بیان کرده اید که خط از مبدا عبور می کند.







### نحوه رسم محورهای لگاریتمی

برای رسم نموداری با محورهای لگاریتمی ابتدا روی یکی از محورها که می خواهید لگاریتمی بشود کلیک کنید دو سر محور تیره میشود سپس دکمه سمت راست ماوس را فشار دهید. حال گزینه Format Axis... را انتخاب و در قسمت Scale گزینه Logarithmic scale را علامت زده و OK کنید.

جهت کسب اطلاعات بیشتر می توانید به منابع [۶] و [۱۷] مراجعه نمایید.

olomyar.com

## پیوست (۲)

### چگونگی تهیه گزارش کار آزمایش:

پس از پایان انجام هر آزمایش و خلاصه برداری و ثبت نتایج دانشجویان تا جلسه بعد فرصت خواهند داشت که کلیه اهداف و خواسته‌های آزمایش را نظیر اطلاعات مربوط به آزمایش، اطلاعات فردی و گروه، نتایج آزمایش اعم از محاسبات عددی، جدولها، رسم نمودارها، محاسبات خطاها، نتیجه گیری و پاسخ به سؤالات هر آزمایش را در قسمت مربوط گزارش کار نوشته و در بدو ورود به آزمایشگاه به مربی آزمایشگاه تحویل دهند. باید توجه داشته باشید که در صدی از نمره نهایی آزمایشگاهی شما مربوط به گزارش کارهای آزمایشگاهی می باشد. لذا ضمن رعایت تمیزی و مرتب نوشتن نتایج باید اطلاع داشته باشید که تحویل به موقع گزارش کارها نیز در نمره نهایی بی تأثیر نخواهد بود. هر گونه کپی برداری از نوشته دیگران از ارزش کار و اعتماد به نفس شما خواهد کاست. هدف نهایی از نوشتن و تحویل گزارش کار آن است که در تصدی مشاغل آینده در سازمانها و یا ادارات مختلف فرد قادر باشد با ارائه گزارش عملکرد مورد نظر ضمن احاطه خود به مسئولیتی که در اختیار دارد، مسئولان مربوطه را نیز در جریان کار خود قرار دهد که بدینوسیله بتوان در تصمیم گیری‌های صحیح از آنها استفاده نمود.

در نوشتن گزارش کار سعی شود غالب یا فرمتی که در ادامه آمده است را رعایت شود. در جدول ابتدایی همانطور که مشخص است تمامی مشخصات آزمایش و گروه انجام دهنده آزمایش باید آورده شود. در یک یا دو خط هدف از انجام آزمایش را بنویسید. در قسمت شرح آزمایش بطور مختصر و به زبان ساده شرحی از تئوری آزمایش نوشته شود. سعی کنید مطالب نوشته شده کپی دستور کار آزمایشگاه نباشد. بهمین نحو و با بیانی ساده مراحل انجام شده در آزمایش را بنویسید. کلیه اعداد اندازه گیری شده در آزمایش باید در جداول مخصوص به خودشان ثبت شوند. هر کمیت فیزیکی باید دارای واحد اندازه گیری باشد. کلیه نمودارها باید در کاغذهای میلیمتری و در صورت نیاز در کاغذهای لگاریتمی و نیم لگاریتمی رسم شوند. به نموداری که در کاغذ سفید رسم شده است نمره‌ای تعلق نمی‌گیرد. همچنین کمیت مورد نظر در محورهای عمودی و افقی باید مشخص و واحد مربوط به آنها نیز درج شده باشد. محاسبات انجام شده در گزارش کار باید بصورت خلاصه درج شوند. نتیجه گیری از آزمایش حتماً باید در پایان گزارش کار منظور گردد. در پایان هر آزمایش تعدادی سؤال یا مسئله ذکر گردیده است که دانشجویان باید درصدد ارایه جواب برای آنها برآیند و جوابهای خود را بنویسند.

۱. شماره آزمایش:	۲. نام آزمایش:
۳. شماره گروه:	۴. روز ..... ساعت .....
۵. نام و نام خانوادگی نویسنده گزارش کار:	۶. اعضای گروه:
۷. تاریخ انجام آزمایش:	۸. تاریخ تحویل گزارش کار:

هدف از آزمایش:

شرح آزمایش:

روش انجام آزمایش:

جداول:

رسم نمودارها:

محاسبات:

نتیجه گیری:

پاسخ به سؤالات:

## منابع و مآخذ

- [۱] سیستمهای اندازه گیری دقیق ، محمد تقی محمود زاده و...
- [۲] سیستمهای اندازه گیری ، الیاس حدادی
- [۳] مبانی فیزیک، هالیدی، مترجم محمود بهار، انتشارات نشر دانشگاهی
- [۴] فیزیک دانشگاهی، زیمانسکی، مترجم جلال پاشایی راد، انتشارات نشر دانشگاهی
- [۵] فیزیک پایه، مکانیک تحلیلی، گرانت فولز
- [۶] دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه (۱)، نیما تقوی نیا و داود عباس زاده، دانشگاه صنعتی شریف
- [۷] دستور کار آزمایشگاه فیزیک حرارت، محمد علی خطیبی و ...، دانشگاه صنعتی اصفهان
- [8] <http://daneshnameh.roshd.ir>
- [9] <http://edu.tebyan.net/textbooks/textbooks/0431/index.htm>
- [10] <http://fa.wikipedia.org>
- [11] <http://smeir.ir>
- [12] <http://chemiphysic.blogfa.com>
- [13] <http://maghalehaa.persianguig.com>
- [14] <http://www2.irib.ir/amouzesh>
- [15] <http://knowclub.com/physicsbook/>
- [16] <http://rashedphysics.blogfa.com>
- [۱۷] گواهینامه بین المللی کاربری کامپیوتر 4 ICDL ، مترجم کیوان سالمی فیه، انستیتو ایز ایران