دستور کار آزمایشگاه فیزیک عمومی ۱

ویژه دانشجویان رشته های علوم پایه

دانشکده فیزیک دانشگاه تهران

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیش گفتار	۲
اهمیت آزمایش	۳
مقدمه: آشنایی با اصول اولیه یک آزمایش	۴
نحوه خواندن کولیس	۱۹
آزمایش ۱: اندازه گیری فرکانس تار مرتعش	۲۱
آزمایش ۲: اندازه گیری چگالی جامدات به روش ارشمیدس	۲۶
آزمایش ۳: اندازه گیری چگالی مایعات به روش هِر	۳۱
آزمایش ۴: تعیین ظرفیت گرمایی گرماسنج و گرمای ویژه جامدات	۳۴
آزمایش ۵: اندازه گیری شتاب گرانش به کمک آونگ ساده	۴۰
آزمایش ۶: اندازه گیری ضریب حرارتی ژول	۴۶
آزمایش ۷: اندازه گیری ضریب انبساط طولی جامدات	۵۰
آزمایش ۸: اندازه گیری کشش سطحی مایعات	۵۵
آزمایش ۹: سقوط آزاد	۵۹

پیش گفتار

درس آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ شاید یکی از مهمترین آزمایشگاههای فیزیک در دوره لیسانس باشد که می تواند جرقه ای برای دانشجویان جدید این رشته که هنوز کاملا زیبایی های فیزیک را لمس ننموده و با این شاخه از علم هنوز ارتباط لازم و شایسته ای برقرار ننموده اند، ایجاد نماید تا با انرژی و انگیزه بیشتری به تحصیل و مطالعه در این رشته روی آورند. به همان میزان شاید بی کیفیت بودن این آزمایشگاه باعث شود حتی از دانشجویان با انگیزه و هدفداری که با انرژی و انگیزه وارد این رشته شده اند انگیزه و انرژی را بگیرد.

باید اذعان داشت که دستور کار قبلی این آزمایشگاه و بعضی از وسایل آزمایشهای آن به چند دهه قبل تعلق داشتند و علی الرغم اینکه در زمان خود بسیار خوب و کارا بودند ولی دیگر پاسخگوی نیاز دانشجویان نبود. بدین منظور ابتدا سعی نمودیم با مطالعه کتب درسی و دستور کار قبلی، مشکلات آزمایشهای دستور کار قبلی را بیابیم و سعی در تکمیل و اصلاح آن نماییم . بعضی از آزمایشها نیز مانند آزمایش سقوط آزاد و اندازه گیری چگالی مایعات به آزمایش ها اضافه شد و سعی شده است که در مجموع آزمایش های انتخابی با توجه به بودجه و امکانات حال حاضر دانشکده بتواند بیشتر موضوعات درسی فیزیک پایه ۱ را برای دانشجویان در بر گیرد. همچنین در طراحی نحوه انجام آزمایشها، کمیتهای خواسته شده و همچنین پرسشهایی که در خلال آزمایش در دستور کار آورده شده است دانشجویان به ماهیت کار آزمایشگاهی و تفاوتهای آن با ماهیت روابط تئوریک صرف بر روی کاغذ پی برده و درک صحیحی از کار آزمایشگاهی و محاسبه خطا پیدا نمایند.

در زمان حاضر بعد از گذشت چندین سال شرایط برای اصلاح و به روز رسانی آزمایشگاههای پایه صورت گرفت. جا دارد از جناب آقای دکتر حسنی به دلیل تلاش در نوآوری در آزمایشگاههای پایه قدردانی نماییم. همچنین زحمات خانم مهری فلاحی در نگارش دستور کار قبلی ستودنی می باشد و از ایشان کمال قدردانی را داریم.

شهریور ۱۳۹۶

مریم خونساری زاده

اهمیت آزمایش

دانشمندان و مهندسان مدت زیادی را صرف کار آزمایشگاهی می کنند. کارهای آزمایشگاهی برای پیشبرد علوم بسیار مهم هستند؛ زیرا در درجه اول پیشرفتهای علمی و فنی شدیداً به نتایج حاصل از یک و یا دنباله ای از آزمایش ها متکی هستند. ممکن است طراحی و اجرای آزمایشی که توسط آن درستی یک نظریه بطور کامل اثبات شود، راحت نباشد؛ اما تا وقتی این آزمایش انجام و نتایج آن توسط دیگران به طور مستقل تایید نشود، بعید به نظر می رسد که نظریه مورد قبول واقع شود. همچنین آزمایش هایی که با دقت انجام می شوند، ممکن است نتایج تازه ای را آشکار کنند که باعث تکامل نظریه موجود شوند. از طرف دیگر دور از انتظار است آزمایش هایی که به عنوان قسمتی از درس آزمایشگاهی انجام می شود، به نتایج جدیدی منجر شوند. اما این امکان را فراهم می آورند که با مطالعه دنیای واقعی، دانش و مهارت لازم برای فهم و درک پدیده ها را کسب کنیم.

مقدمه

آشنایی با اصول اولیه یک آزمایش

۱- خطا چیست؟

جدا از میزان تلاش، دقت و یا کیفیت مناسب وسایل آزمایش، همواره میان مقادیری که در یک آزمایش اندازه می گیریم تفاوت وجود دارد. یک آزمایش ممکن است شامل اندازه گیری هایی باشد که به وسایلی ساده یا پیچیده نیاز داشته باشد؛ اما تمام آزمایش ها در یک چیز مشترک می باشند: تمام اندازه گیری ها متأثر از خطای آزمایش هستند. منظور این است که اگر مجبور به انجام اندازه گیری های پیاپی یک کمیت بخصوص باشیم به احتمال زیاد به تغییراتی در مقادیر مشاهده شده برخورد خواهیم کرد. گر چه امکان دارد بتوانیم مقدار خطا را با بهبود روش آزمایش و یا با بکارگیری روش های آماری کاهش دهیم ولی هرگز نمی توانیم آنرا حذف کنیم.

۱-۱ خطای تخمینی یک کمیت بیانگر چیست؟

خطای تخمینی یک کمیت بیان می کند که تا چه اندازه می توان به مقدار کمیت داده شده اطمینان پیدا کرد. بطور مثال اگر طول یک میز ۱۲۰ سانتی متر و خطای تخمینی آن ۵ سانتی متر گزارش داده شود آن را به این صورت می نویسیم cm (۵±۱۲۰). طول واقعی میز ۶۵ درصد بین ۱۱۵ تا ۱۲۵ و ۹۰ درصد بین ۱۱۰ تا ۱۳۰ است.

"مقدار خطا در یک آزمایش بازه ای که کمیت مورد نظر در آن قرار می گیرد را مشخص می کند."

۱-۲ عوامل ایجاد خطا در یک اندازه گیری

۱) **خطای دقت وسایل اندازه گیری**:

هیچ وسیله اندازه گیری وجود ندارد که بتواند کمیتی را با دقت بینهایت اندازه گیری نماید، در هر حال خطای وسایل اندازه گیری در آزمایش اجتناب ناپذیر است. مثلاً برای خط کشی که درجه بندی آن ۱mm است چنانچه دقت بخرج دهیم قادر به اندازه گیری طول تا ۰/۵ mm خواهیم بود نه فراتر از آن.

دقت تمام اندازه گیری ها بستگی به نوع وسیله اندازه گیری مورد استفاده دارد. معمولاً وسایل اندازه گیری در آزمایشگاه یا مدرج هستند یا دیجیتال. در وسایل مدرج مقدار خطا را

نصف کوچکترین درجه بندی آن وسیله اختیار می نمایند. در وسایل اندازه گیری دیجیتال کمیت مورد نظر را بصورت یک عدد تحویل می دهند. خطای این وسایل را برابر با کوچکترین مقداری که می توانند نشان دهند در نظر می گیرند.

۲) **خطای شخصی**:

هنگام اندازه گیری یک کمیت میزان دقت شخص بسیار مهم است. یکی از عوامل مؤثر ایجاد خطا توسط شخص، نحوه خواندن مقادیر می باشد که باید همیشه مستقیم و از روبرو باشد.

۳) **خطای محیطی**: محیط اطراف در دقت داده های حاصل از یک آزمایش بسیار مؤثر است و باعث ایجاد خطا می شود. این خطا عبارتند از اغتشاش الکتریکی ناشی از روشن و خاموش کردن وسایل برقی، نوسانات تولید شده توسط یک وسیله نقلیه، کم و زیاد شدن ولتاژ منبع تغذیه و... .

۱-۳ خطاهای سیستماتیک و کاتوره ای

در اندازه گیری و ثبت مقادیر اندازه گیری شده هر آزمایش به سادگی اشتباه صورت می پذیرد. پس علاوه بر اینکه باید در یک اندازه گیری نهایت دقت بعمل آید، خیلی بهتر است که عمل اندازه گیری را چندین بار تکرار کنیم. مقادیر بدست آمده از این اندازه گیری ها با یکدیگر متقاوت است. در این حالت خطاها را به دو دسته خطاهای سیستماتیک و خطاهای کاتوره ای تقسیم می کنیم.

۱-۳-۱ خطای سیستماتیک (ذاتی):

خطای تنظیم صفر از جمله خطاهای سیستماتیک می باشند. مثلاً در یک ترازوی دیجیتال بدون قرار دادن جسمی در کفه، وزن را می خوانیم و بعد در هر بار اندازه گیری از وزن خوانده شده کم می کنیم. منشأ دیگر خطاهای سیستماتیک ممکن است مربوط به معیوب بودن وسیله ی اندازه گیری باشد. در واقع هر دستگاهی برای مقادیر واقع در یک بازه به نحو احسن عمل می کند و خارج از این بازه دقت وسیله پایین می آید.

۱-۳-۲ خطاهای کاتوره ای (تصادفی):

خطاهای کاتوره ای در مقادیر مشاهده شده ایجاد پراکندگی می کند. بطوریکه در بعضی مواقع مقادیر اندازه گیری شده را به بالای مقدار واقعی و در بعضی مواقع دیگر این مقادیر را به پایین مقدار واقعی تخمین می زند. در بعضی موارد اندازه گیری به سختی انجام می شود و این باعث پدید آمدن تغییرات بزرگی در مقادیر اندازه گیری شده می گردد. عوامل محیطی مثل تغییرات دما، رطوبت، جریان های جوی، تغییرات جریان برق یا غفلت شخص اندازه گیر نیز باعث ایجاد خطاهای کاتوره ای زیادی می شوند. معمولاً امکان مثبت و منفی بودن خطاهای

کاتوره ای مساوی است؛ پس میانگین این اعداد می تواند تقریب خوبی از مقدار واقعی کمیت باشد و هر چه دفعات اندازه گیری افزایش یابد مقدار میانگین به مقدار واقعی نزدیک تر می شود. برای حذف خطاهای کاتوره ای باید آزمایش در بهترین شرایط و برای چندین بار انجام شود.

بطور کلی در حضور خطاهای کاتوره ای به تنهایی نقطه میانگین اعداد بدست آمده تقریب خوبی از مقدار حقیقی کمیت موردنظر می باشد. خطاهای دستگاهی نیز یک جابه جایی از مقدار واقعی در میانگین اعداد بوجود می آورد.

۲- خطای نسبی و درصد خطای نسبی

مقدار نظری / (مقدار تجربی-مقدار واقعی) = خطای نسبی(انحراف نسبی)

خطای نسبی *۱۰۰= درصد خطای نسبی(درصد انحراف)

۳- تعریف کمیت های اولیه و ثانویه

مفهوم کمیت اولیه و ثانویه یک مفهوم عرفی و مفید است.

کمیت اولیه:کمیتی است که مستقیماً از روی وسیله اندازه گیری خوانده می شود مانند طولِ یک میز و زمان سقوط یک گلوله ی فلزی از ارتفاع مشخص.

کمیت ثانویه: این نوع کمیت مستقیماً از روی وسیله ی اندازه گیری خوانده نمی شود بلکه توسط تابعی به کمیات اولیه و ثانویه ی دیگر ربط پیدا می کند. مثل چگالی یک جسم که از روی تقسیم جرم بر حجم جسم به دست می آید. در این حالت جرم جسم می تواند کمیت اولیه (توسط ترازو) یا ثانویه(وزن(توسط نیروسنج))

باشد. حجم نیز می تواند کمیت اولیه (حجم مایع جابه جا شده مثل آب در یک بشر مدرج) یا ثانویه باشد(حجم= طول*عرض*ارتفاع(توسط خط کش یا کولیس) اگر مکعبی باشد).

۴- مقدار میانگین و خطا در مقدار میانگین

در اینجا روی خطاهای کاتوره ای تمرکز می کنیم به مقدار متوسط یک دسته عدد، مقدار میانگین گفته می شود. نماد بکار گرفته شده برای مقدار میانگین $\overline{X}$ است و توسط فرمول زیر محاسبه می گردد:

$$\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{i=n} X_i \qquad (۱)$$

این فرمول بیان می کند که در محاسبه x طی n آزمایش، n مقدار مختلف x_1 ، x_2 ، ...، x_n بدست آمده است و مقدار میانگین این مقادیر، $\overline{X}$ ، محتملترین مقدار برای کمیت x است.

به تفاوت بین داده iام و مقدار میانگین، انحراف گفته می شود. برای برآورد پراکندگی و اختلاف معیار داده ها، اندازه گیری انحراف مناسب است. برای کمیت x انحراف را با Δx نمایش می دهیم:

$$\Delta x = x_i - \overline{x} \qquad (۲)$$

چون این انحراف ها گاهی مثبت و گاهی منفی هستند، ممکن است متوسط آنها برابر صفر شود. آنچه اغلب به عنوان اختلاف معیار داده ها اختیار می شود، جمع مربعات انحراف ها است که آنرا با نماد σ^2 نمایش می دهند. معیار اختلاف بصورت زیر تعریف می شود:

$$\sigma^2 = \frac{\sum(\Delta x)^2}{n} = \frac{\sum(x_i - \overline{x})^2}{n} \qquad (۳)$$

که در آن n تعداد اندازه گیری های پیاپی است.

قابل ذکر است که یکای اختلاف معیار، مربع یکایی که اندازه گیری اصلی با آن انجام شده است، می باشد. گرچه اختلاف معیار مقیاسی برای اندازه گیری توزیع مقادیر داده هاست، ولی چنین متداول است که به دنبال پیدا کردن انحراف معیار مجموعه داده ها باشیم. این کمیت، یکایی همسان با یکای کمیت اصلی اندازه گیری شده دارد. انحراف معیار بصورت $^{\frac{1}{2}}$(اختلاف معیار) تعریف و با نماد σ نمایش داده می شود و از معادله زیر بدست می آید:

$$\sigma = \left(\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (۴)$$

بطور کلی انحراف معیار برای مجموعه ای از اندازه گیری های پیاپیِ یک کمیت، بدون توجه به تعداد اندازه گیری های انجام شده، تقریباً ثابت مانده و بیانگر دقت در اندازه گیری ها می باشد. بنابراین اگر انحراف از معیار کوچک باشد، در آنصورت گستردگی مقادیر اندازه گیری شده در اطراف مقدار میانگین کم بوده و به عبارتی خطای آماری کمتر خواهد بود.

به خطا یا عدم دقت در مقدار میانگین، انحراف متوسط از میانگین یا خطای معیار گفته می شود که بصورت زیر است:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \qquad (۵)$$

دلیل محاسبه مقدار میانگین رسیدن به "متوسط پهن شدگی مقادیر" است. باکمی دقت متوجه می شویم که خطای $\sigma_{\bar{x}}$ ناشی از خطای کاتوره ای، (خطای محیط و خطای شخص آزمایشگر) می باشد و خطای دستگاه اندازه گیری در آن حساب نشده است.

در محاسبه خطای مربوط به مقدار میانگین اگر مرتبه بزرگی $\sigma_{\bar{x}}$ از خطای دستگاه اندازه گیری بیشتر باشد از خطای دستگاه اندازه گیری صرف نظر می شود:

$$x = \bar{x} + \sigma_{\bar{x}} \qquad (۶)$$

اگر مرتبه بزرگی خطای دستگاه اندازه گیری از $\sigma_{\bar{x}}$ بیشتر باشد، که در این صورت آزمایش در شرایط بسیار خوبی انجام گرفته است، داریم:

$$x = \bar{x} + \text{خطای دستگاهی} \qquad (۷)$$

و اگر هر دو از یک مرتبه بزرگی باشند خواهیم داشت:

$$x = \bar{x} + \sigma_{\bar{x}} + \text{خطای دستگاهی} . \qquad (۸)$$

۵- محاسبه خطای دستگاهی در کمیت های مرکب

اگر کمیتی را بصورت تابعی از چند کمیت دیگر داشته باشیم، محاسبه خطای آن به راحتی زمانی که تنها یک کمیت مستقل داریم نخواهد بود. بلکه باید خطای تک تک کمیت ها را ابتدا توسط روش های گفته شده در بالا حساب کنیم و بعد با روشی که مبتنی بر حساب دیفرانسیل است این خطاها را به گونه ای ترکیب کنیم که خطای بدست آمده منطقی و همه جانبه باشد.

تابع $y = f(x_1.x_2.\ldots.x_N)$ را در نظر بگیرید. مقدار Δy ، خطای دستگاهی کمیت y بدون اثبات از رابطه (۹) به دست می آید:

$$(\Delta y)^2 = (\frac{\partial \mathrm{f}}{\partial x_1}\Delta x_1)^2 + (\frac{\partial \mathrm{f}}{\partial x_2}\Delta x_2)^2 + \cdots + (\frac{\partial \mathrm{f}}{\partial x_N}\Delta x_N)^2 \qquad (۹)$$

$\frac{\partial \mathrm{f}}{\partial \mathrm{x}}$ مشتق جزئی تابع f نسبت به کمیت مستقل x است. هنگام محاسبه مشتق نسبت به یک جزء تمام متغیر های دیگر معادله به صورت مقادیر ثابت فرض می شوند.

دقت شود که مشتق جزئی تابع نسبت به هر متغیر که خطای اندازه گیری دارد معنی می دهد و کمیت های دیگر بدون خطا در نظر گرفته می شوند. به عنوان مثال نمونه های زیر را در نظر بگیرید:

$$y = x_1 + x_2 \Rightarrow (\Delta y)^2 = (\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2$$
$$y = x_1 - x_2 \Rightarrow (\Delta y)^2 = (\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2$$
$$y = x_1 \times x_2 \Rightarrow (\Delta y/y)^2 = (\Delta x_1/x_1)^2 + (\Delta x_2/x_2)^2$$
$$y = x_1/x_2 \Rightarrow (\Delta y/y)^2 = (\Delta x_1/x_1)^2 + (\Delta x_2/x_2)^2$$

در آخر باید بگوییم که لازمه استفاده از روش ترکیب خطاها، شرط مستقل بودن خطاها از یکدیگر است. اگراین شرط برقرار نباشد روش های ترکیب خطاها که در ابتدا آمده ترجیح داده می شود. در هر حالت چیزی که مهم است توضیح کامل روش مورد استفاده در دفتر یادداشت آزمایشگاه یا گزارش مربوطه است.

مثال:

در آزمایشِ سقوط آزاد، زمان افتادن یک توپ کوچک از ارتفاع $90/4 \pm 0/05$ cm اندازه گیری می شود.

t(s)	0/34	0/41	0/37	0/41	0/42	0/89	0/37	0/49	0/43	0/40	0/41	0/47

$$\bar{x} = \frac{0/34 + 0/41 + \cdots + 0/47}{11} \approx 0/41s$$

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{(0/34 - 0/41)^2 + \cdots (0/47 - 0/41)^2}{11(11+1)}} \approx 0/013s$$

مقدار نهایی به صورت $0/41 \pm 0/013s$ یا $0/41 \pm 0/01s$ نوشته می شود.

نکته: خطای وسیله اندازه گیری (کرنومتر) برابر 0/01 s است و چون این خطا کمتر از $\sigma_m \approx 0/013s$ است مشکلی پیش نمی آید. اما اگر در آزمایشی σ_m کوچکتر از خطای وسیله اندازه گیری کمیت مورد نظر بود، به جای σ_m از خطای وسیله اندازه گیری استفاده می کنیم. مثلاً اگر $\sigma_m = 0/006$ باشد، نتیجه به جای $0/41 \pm 0/006s$ برابر با $0/41 \pm 0/01s$ است.

حال برای محاسبه خطای دستگاهی شتاب گرانش زمین g ، مراحل زیر را طی می کنیم.

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow g = \frac{2h}{t^2} \Rightarrow \left(\frac{\Delta g}{g}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta t}{t}\right)^2$$

$$g = \frac{2 \times 90/4}{0/41} = 10/7\frac{m}{s^2}$$

$$\frac{\Delta g}{g} = \sqrt{\left(\frac{0/05cm}{90/4cm}\right)^2 + 4\left(\frac{0/01s}{0/41s}\right)^2} \approx 0/05 \Rightarrow \Delta g \approx 0/5\frac{m}{s^2}$$

پس نتیجه آزمایش به صورت $\Delta g = 10/7 \pm 0/5\ \frac{m}{s^2}$ می باشد.

۶- ارقام با معنی

در محاسبه سطح مقطع میله استوانه ای شکل با قطر ۸/۹ mm ، ماشین حساب عدد ۶۲/۲۱۱۳۸۸۵۲mm ۲ را نشان می دهد. در اینجا یک ناهماهنگی وجود دارد: اندازه قطر با یک رقم اعشاری و اندازه مساحت با هشت رقم اعشاری داده شده است.

اگر شبیه مثال بالا مجبورید محاسبه ای را انجام دهید که در آن خطای مقادیر مشخص نیست، بایستی فقط با ارقام با معنی کار کنید. برای این منظور بکارگیری قوانین زیر لازم است:

قانون اول: زمانی که اعداد را در هم ضرب یا بر هم تقسیم می کنید، عددی که با کمترین ارقام با معنی است را شناسایی کنید و به حاصل محاسبه همین تعداد ارقام را نسبت دهید.

$3.2\ \text{cm} \times 5.63\ \text{cm} = 18.0\ \text{cm}^2$

$$\frac{5\ m}{24\ s} = 0.2\ \frac{m}{s}$$

قانون دوم: زمانی که اعداد را با هم جمع یا از هم کم می کنید، تعداد ارقام اعشاری عدد حاصل از محاسبه را برابر با تعداد کمترین ارقام اعشاری اعداد شرکت داده شده در محاسبه گرد کنید.

$32.0\ cm + 16\ cm = 48\ cm$

$18.9\ \text{gr} - 12\ \text{gr} = 7\ \text{gr}$

در اینجا ۶,۹ به ۷ گرد شده است.

نماد علمی

اغلب اوقات خواص فیزیکی، با مقادیر خیلی بزرگ یا خیلی کوچک مشخص می شوند. به منظور بیان کمیت های بسیار بزرگ و بسیار کوچک و پرهیز از هر گونه ابهام در دقت عدد ها، از نمادگذاری علمی استفاده می شود. در نمادگذاری علمی، همه عدد ها را به صورت حاصل ضرب عددی میان ۱ و ۱۰، و توان صحیحی از ۱۰ می نویسند. بنابر تعریف: $10^0 = 1$، $10^1 = 10$، $10^2 = 100$ و.... نمای ۱۰ برابر تعداد صفر هایی است که به دنبال رقم یک قرار می گیرند.

هر عدد کوچک تر از یک به صورت حاصل ضرب عددی بین ۱ و ۱۰ و توان صحیح منفی از ۱۰ نوشته می شود. بنابر تعریف $\frac{1}{10^n} = 10^{-n}$. به طور مثال:

$0.000000492\ s = 4.92\ \times\ 10^{-7}s$

$3560000000\ m = 3.56\ \times\ 10^{9}m$

نکته:

۱- اگر عدد اعشار نداشته باشد صفرهای جلو عدد خوانده نمی شود.

۲- در اعداد اعشاری صفر بین اعشار و اولین عدد محاسبه نمی شود.

مثال:

تعداد ارقام با معنا یک می باشد « ۳۰
تعداد ارقام با معنا دو می باشد « ۰,۰۳۰
تعداد ارقام با معنا دو می باشد « ۰,۰۰۳۰
تعداد ارقام با معنا سه می باشد « ۰,۰۰۳۰۰

لازم به ذکر است در صورت داشتن مقدار خطا باید با توجه به آن مقدار کمیت اصلی را گرد کنید. این موضوع در زیر توضیح داده شده است.

۷- چگونگی بیان خطا

با ذکر خطا، بازه احتمالی ای که مقدار کمیت مورد نظر در آن قرار می گیرد، مشخص می شود. بنابراین در بیان خطا هیچ جایی برای در نظرگیری بیشتر از یک رقم بامعنی وجود ندارد. پس باید بیشتر مواقع مقدار خطا را گرد کنیم. گرد کردن خطا نمایانگر این است که خود مقدار میانگین را باید تا همان تعداد ارقام اعشاری مقدار خطا گرد کرد و مقدار نهایی باید بصورت نماد علمی نوشته شود.

۸- ترسیم نمودار

نمودارهای X–Y جهت نمایش داده ها در علوم پایه و مهندسی بسیار مورد استفاده قرار می گیرند. یک نمودار X–Y دارای محورهای افقی و عمودی است که به ترتیب بصورت محور X و محور Y شناخته شده اند. هر نقطه نمایش داده شده در نمودار با یک جفت عدد که همنه نقطه نامیده می شوند، مشخص می شود. همنه های نقطه بصورت خلاصه شده (X,Y) نوشته می شود. معمولاً متغیر مستقل با همنه X و متغیر وابسته با همنه Y نشان داده می شوند. برای کمک در ترسیم نمودار دقیق نقاط، امکان استفاده از کاغذ میلیمتری، نیمه لگاریتمی و لگاریتمی که در آن خطوط مشبک افقی و عمودی کشیده شده است، وجود دارد.

برای اینکه نمایش داده های آزمایشگاهی گویاتر باشد، یک نمودار به اطلاعات بیشتری نیاز دارد از قبیل **عنوان نمودار، نام ویکای محورها**. عنوان نمودار برای بیان رابطه ای که درباره آن تحقیق صورت گرفته است، می باشد.

نام کمیت مربوط به هر محور باید روی آن نوشته شود و یکای کمیت مورد نظر در یک پرانتز و جلوی نام کمیت بیان می شود.

هر زوج داده تجربی معادل یک نقطه در نمودار است. پس از نقطه یابی نوبت به رسم مناسب ترین خط می رسد، خط محاسباتی باید طوری رسم شود که تا جای ممکن از بیش ترین نقاط تجربی عبور کند یا به آن ها نزدیک باشد، همچنین پراکندگی نقاط حول آن یکنواخت باشد. یعنی مجموع فواصل عمودی نقاطی که در یک طرف خط واقع شده اند تا خط، تقریبا برابر مجموع فواصل عمودی نقاطی باشد که در طرف دیگر خط واقع شده اند. در این حالت اگر نقطه یا نقاطی نسبت به بقیه داده ها همخوانی نداشته باشند می توان از آن ها چشم پوشی کرد. نقطه حذف شده نباید پاک شود فقط به طور مشخص به حذف آن در صفحه نمودار اشاره کرد.

مهمترین مقیاس برای نمودار مقیاسی است که حداقل درجه بندی نمودار، مطابق با حداقل درجه بندی وسیله اندازه گیری باشد. اما مهمتر این است که مقیاس ترسیم به گونه ای اختیار شود که فضای کافی برای اضافه نمودن نمادها، یکاها و عنوان باقی بماند. نقاط نمودار را باید با علامت مناسبی نشان داد.

۸-۱ محاسبه شیب خط

پس از رسم نمودار به راحتی می توان شیب و عرض از مبدا منحنی رسم شده را به دست آورد. برای محاسبه شیب کافی است دو نقطه اختیاری تا آن جا که ممکن است دور از یکدیگر، را روی خط در نظر گرفت و از رابطه مربوطه، شیب خط را به دست آورد.

۸-۲ چگونه می توان به بهینه خط عبوری از میان یک مجموعه نقطه نمایشی رسید؟

به دلیل خطای آزمایش بعید است که همگی نقاط درست روی یک خط راست قرار بگیرند، بنابراین می بایستی با یک روش برآوردی مکان "برازنده ترین " خط راستی که از نقاط نمایش داده شده با کمترین فاصله می گذرد

را بدست آوریم. خط فوق اغلب خط "برازش" نامیده می شود. روشی آسان برای ترسیم خطی که از بین مجموعه نقاط نمایشی عبور نماید بکارگیری یک خط کش پلاستیکی شفاف و قرار دادن تقریبی آن در امتداد نقاط است. قدم بعدی جابه جا کردن خط کش تا اینکه پراکندگی نقاط نمایشی به طور یکسان در بالا و پایین خط راست قرار بگیرند، می باشد. با ترسیم بهینه خطی که از میان نقاط می گذرد، می توان معادله ای که بیانگر رابطه بین کمیت های X و Y است، را بدست آورد. شیب m و عرض از مبدأ c، این خط را محاسبه نموده و معادله خط به صورت $Y=mX+c$ نوشته می شود.

۹- نگارش گزارش آزمایش

یادگیری نحوه نوشتن یک گزارش آزمایش کامل و ارائه نتایج و تحلیل به شکل علمی و دقیق یکی از هدفهای درس آزمایشگاه فیزیک پایه یک است. به این منظور و برای تحلیل داده ها، ارائه و ثبت نتایج بدست آمده از آزمایش ها لازم است دانشجویان گزارش آزمایش را تهیه و حداکثر یک هفته بعد از انجام آزمایش تحویل دهند. یک گزارش آزمایش باید دارای بخش های زیر باشد:

۱- صفحه نخست شامل عنوان آزمایش، نام، نام خانوادگی آزمایشگر، تاریخ انجام آزمایش.
۲- موضوع آزمایش.
۳- هدف از انجام آزمایش.
۴- مقدمه (کوتاه).
۵- نحوه انجام آزمایش و نکاتی که باید در حین انجام آزمایش مورد توجه قرار گیرند (بسیار کوتاه).
۶- رسم نمودارها، تحلیل دقیق داده ها و منحنی ها در نواحی مختلف با توجه به خواسته های آزمایش.

---

۱ - Best fiting line

۷- محاسبه خطاها و دلایل بروز خطا و جداول داده های ثبت شده.

۸- ارائه راهکارهای مناسب جهت بهبود شرایط آزمایش.

۹- پاسخ به سئوالات.

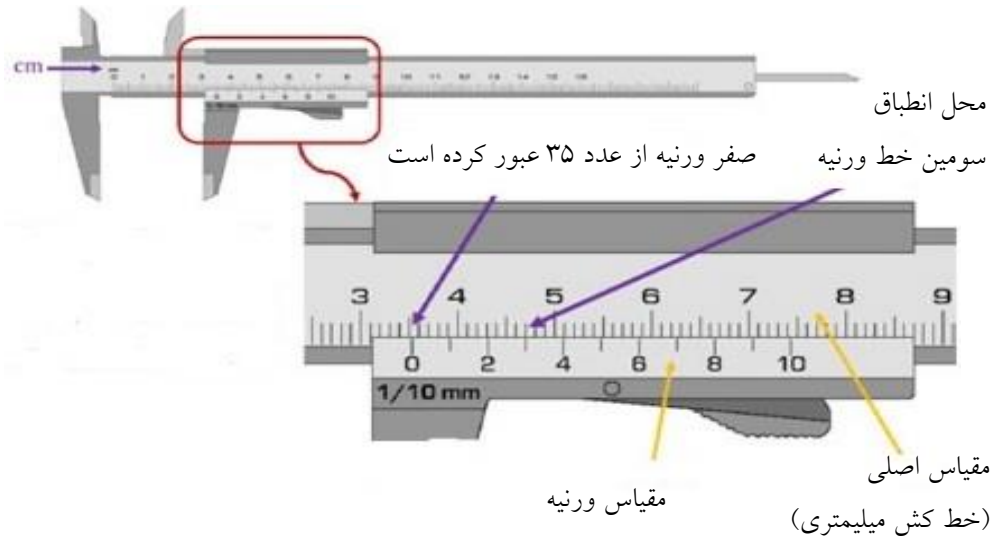
باید توجه داشت که تمامی واحدها بر حسب SI آورده شده و هر کمیتی با واحد مورد نظر آن ذکر شود. برای نوشتن گزارش باید ارقام بامعنی در محاسبات و ارائه نتایج مورد توجه قرار گیرد. برای رسم تمامی منحنی ها از کاغذ میلیمتری یا از نرم افزارهای موجود مانند Excel، Origin و مانند آنها استفاده شود.

نحوه خواندن کولیس

کولیس وسیله ای است که برای اندازه گیری طول های کوچک مورد استفاده قرار می گیرد. این وسیله از دو قسمت تشکیل می شود. قسمت اول مقیاس اصلی (خط کش) و قسمت دوم آن ورنیه نامیده می شود (انتخاب این نام به افتخار ورنیه دانشمند فرانسوی و مخترع کولیس صورت گرفته است). ورنیه غلاف مدرج و متحرکی است که می تواند روی خط کش بلغزد. خط کش و ورنیه هریک دارای دو شاخک کوچک و بزرگ هستند. شاخک های بزرگ برای اندازه گیری قطر خارجی و شاخک های کوچک برای اندازه گیری قطر داخلی اجسام بکار می رود. علاوه بر آن تیغه ای به ورنیه متصل است که برای اندازه گیری عمیق یا گودی اجسام توخالی مانند عمق استوانه توخالی (مثل استوانه ارشمیس) بکار می رود.

برای خواندن کولیس ابتدا باید ببینید صفر ورنیه در کجای مقیاس اصلی قرار گرفته (صفر ورنیه از چند میلیمتر خط کش میلیمتری عبور کرده است) و آن عدد را از روی مقیاس اصلی بخوانید. سپس به دنبال انطباق یکی از خطوط درجه بندی، بین درجه بندی مقیاس ورنیه با مقیاس اصلی بگردید. محل انطباق را در دقت کولیس ضرب کرده و با عدد قبلی جمع کنید . در شکل زیر نحوه خواندن کولیس با دقت ۰/۱ میلیمتر نشان داده شده است.

عددی که کولیس نشان می دهد برابر است با: ۳۵mm + ۳*۰/۱ mm = ۳۵/۳ mm



مراجع:

[۱] http://physics.sharif.edu/~genphyslabs1/manual/12

[۲]profsite.um.ac.ir/~abaspour/instrumentation/session2(errors)

آزمایش ۱

اندازه گیری فرکانس تار مرتعش

هدف: اندازه گیری فرکانس تار مرتعش (سونومتر)

مبانی نظری

تاری یکنواخت (یا ریسمانی) بطول معین L که بطور افقی کشیده و دو انتهای آن بسته شده است را در نظر بگیرید. حال اگر این ریسمان را با دست خود اندکی به بالا یا پایین کشیده و رها کنید، ریسمان شروع به ارتعاش می‌کند. این سیستم را تار مرتعش می‌گویند. تار مرتعش در موسیقی کاربرد بسیاری دارد. در این آزمایش سعی می شود فرکانس تار مرتعش اندازه گیری شود.

اگر تارمرتعش را در دو نقطه محکم کنیم و آنرا به ارتعاش در آورید، چون ارتعاشات عرضی در طول تار منتشر شده و درانتهای ثابت منعکس می شوند، امواج ایستاده تولید می شود. واضح است که برای ایجاد امواج ایستاده باید دوره تناوب ارتعاشات طوری باشد که طول تار شامل مضارب فردی از $\lambda/4$ شود.

$$l = (2k+1)\,\lambda/4 \qquad (۱)$$

از طرفی:

$$\lambda = \frac{v}{f} \;\rightarrow\; f = (2k+1)\,V/4l$$

آزمایش نشان می دهد که سرعت انتشار v در تارهای مرتعش با جذر نیروی کشش (F) طول تار نسبت مستقیم و با جذر جرم واحد طول تار (μ) نسبت معکوس دارد، یعنی سرعت انتشار امواج عرضی در یک نخ یا سیم که با نیروی F کشیده شده است از رابطه(۲):

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \qquad (۲)$$

بدست می آید که در آن V سرعت انتشار امواج عرضی در طول تار و بر حسب متر بر ثانیه و F نیروی کشش بر حسب نیوتن و μ جرم واحد طول نخ بر حسب کیلو گرم بر متر است. این رابطه برای نخ یا سیم باریک صادق است. چون $\lambda = v \cdot f$ (f فرکانس ارتعاشات نخ یا سیم است.) ، پس خواهیم داشت:

بنابراین از (۱) و (۲) داریم:

$$f = \frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{F}{\mu}} \qquad (۳)$$

یا $f^2 = \frac{F}{\lambda^2 \mu}$ چنانچه آزمایش روی یک نخ معین و با یک فرکانس ثابت انجام شود مقدار f و جرم واحد طول نخ مقدار ثابتی باشد نسبت $\frac{F}{\lambda^2}$ نیز مقدار ثابتی خواهد بود و یکی از اهداف آزمایش تحقیق همین نکته است.

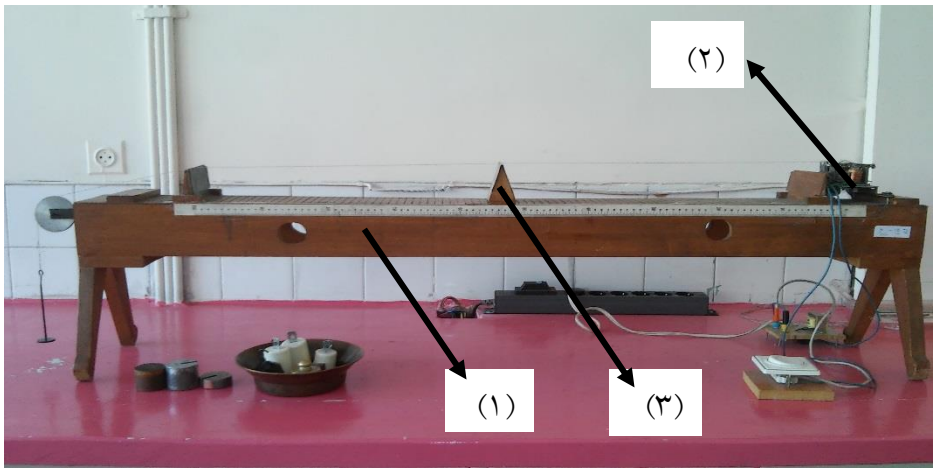
وسایل مورد نیاز

۱- سونومتر، ۲- نوسان ساز، ۳- نخ، ۴- کفه ۵- وزنه های مختلف، ۶- منبع تغذیه متناوب.

روش انجام آزمایش

دستگاه سونومتر (۱) مانند شکل زیر است:

شکل (۱): دستگاه سونومتر



نکته: نوسان ساز یا ویبراتور دستگاهی است که نخ را با فرکانس معینی به ارتعاش در می آورد (۲) . دقت داشته باشید که نوسان ساز حساس است و پس از هر مشاهده باید کلید مربوطه را قطع نمایید.

مرحله اول: اندازه گیری فرکانس تار مرتعش (یک لا)

۱- ابتدا نوسان ساز را به ولتاژ متناوب وصل کنید. نخ را از قرقره موجود در انتهای سونومتر بگذرانید و کفه وزنه را به آن بیآویزید.

۲- در کفه وزنه جرمی حدود ۴۳۲ گرم قرار دهید و نوسان ساز را با زدن کلید روشن کنید.(دقت کنید جرم کفه را نیز در نظر بگیرید.)

۳- حال نشانه (۳) را آنقدر جابجا کنید که در طول نخ تنها یک شکم با بیشترین دامنه ایجاد شود. فاصله ابتدای سونومتر تا میانه ی نشانه را اندازه گرفته و آنرا AB بنامید. از آنجا که هر موج دارای دو شکم و دو گره است، پس در این مرحله AB نصف طول موج مربوط به موجی است که نوسان ساز در طول نخ ایجاد می کند. مقادیر AB و جرم وزنه های آویخته به نخ را در جدول شماره (۱) یادداشت نمایید.

۴- سعی کنید بدون تغییر مکانی که برای نشانه در مرحله اول بدست آورده اید و با دقت در رابطه شماره (۳) وزنه ها را بگونه ای کم کنید که در فاصله AB بترتیب دو شکم، سه شکم و چهار شکم ایجاد شود و برای هر مرحله، مقدار λ و جرم وزنه ها را در جدول شماره (۱) یادداشت نمایید.

جدول (۱)

نوع نخ	تعداد شکمها	AB(cm)	λ(cm)	λ^2(cm)^2	F= mg(N)	(Hz)f	Δf
نخ یک لا	یک شکم						
	دو شکم						
	سه شکم						
	چهار شکم						

۵- با استفاده از روابط ذکر شده در بالا و مقادیر اندازه گیری شده فرکانس تار مرتعش را در هر مرحله محاسبه کرده و در جدول (۱) یادداشت کنید.

۶- نمودار F برحسب λ^2 را روی کاغذ میلی متری برای نخ یک لا رسم نموده و با محاسبه شیب خط مقدار فرکانس ارتعاش نخ را بدست آورید.

۷- با توجه به دقت وسایل اندازه گیری خطای محاسبه را در هر مرحله محاسبه کنید.

مرحله دوم: اندازه گیری فرکانس تار مرتعش (دو و سه لا)

تمام مراحل آزمایش را برای نخ های دو لا و سه لا انجام داده و جدول (۲) را کامل کنید.

جدول (۲)

نوع نخ	تعداد شکمها	AB(cm)	λ(cm)	$\lambda^2(cm)^2$	F= mg(N)	f (Hz)
نخ دو لا	یک شکم					
نخ سه لا	یک شکم					

۱- آیا فرکانس ایجاد شده در این دو، با فرکانس نخ یک لا مشابه است؟ چرا؟

۲- آیا کاربردهای دیگری از سونومتر می شناسید؟

آزمایش شماره ۲

بررسی اصل ارشمیدس

هدف: تحقیق اصل ارشمیدس و اندازه گیری چگالی جسم جامد

مبانی نظری

اینکه چرا بعضی اجسام شناور هستند و بعضی غرق می شوند، چرا یک قطعه فولاد در آب فرو می رود ولی کشتی فولادی روی آب می ماند و اینکه چگونه بادکنکی پر از هلیوم در هوا شناور می شود پرسش هایی هستند که پاسخ آنها را بایستی در اصل ارشمیدس جستجو کرد.

اصل ارشمیدس بیان می دارد که به هر جسمی که درون شاره ای قرار می گیرد نیرویی رو به بالا، برخلاف نیروی گرانش، وارد می شود که به آن نیروی شناوری گویند. این نیرو برابر با وزن شاره ای است که جسم جابجا می کند.

هرگاه تمام یا قسمتی از یک جسم در یک شاره در حال سکون قرار گرفته باشد، شاره به هر جزئی از سطح که با آن در تماس است فشار وارد می کند. اگر استوانه ای را که کاملا در مایعی به چگالی ρ غوطه ور است در نظر بگیریم، فشار وارد بر قاعده بالایی آن $P_1=\rho gh_1$ و فشار وارد بر قاعده پایین آن $P_2=\rho gh_2$ است. واضح است که P_2 بزرگتر از P_1 و نیروی رو به بالایی F_2 بزرگتر از نیروی رو به پایین F_1 خواهد بود. بنابراین نیروی برآیند وارد بر جسم نیرویی رو به بالاست که نیروی شناوری F_B نامیده می شود.

در واقع این نیرو بدلیل افزایش فشار در شاره با افزایش عمق بوجود می آید و با توجه به روابط زیر برابر با وزن شاره جابجا شده هم حجم با جسم است.

$$F_B = P_2A - P_1A = \rho_{fluid}\, gA(h_2-h_1) = \rho_{fluid}\, g\, V_{mass} = \text{وزن شاره جابه جا شده} \qquad (۱)$$

با فرض اینکه جسم را با اعمال نیرویی در شاره نگه داشته ایم و با در نظر گرفتن نیروی وزن جسم، اختلاف نیروهای وزن و شناوری برابر خواهد بود با:

$$F_B - F_g = \rho_{fluid}\, gV_{mass} - \rho_{mass}\, gV_{mass} \qquad (۲)$$

F_g نیروی وزن کل جسم می باشد. اگر چگالی جسمی کمتر از چگالی شاره باشد و جسم به حال خود رها شود، جسم روی سطح آب می آید و شناور می شود و اگر چگالی جسم بیشتر از شاره باشد، آن جسم در مایع غرق خواهد شد. اگر چگالی جسم با چگالی شاره برابر باشد جسم کاملا در شاره غوطه ور می شود.

با جایگذاری حجم جسم با استفاده از رابطه چگالی (۳) در روابط (۱) ، رابطه (۴) بدست می آید:

$$\rho = m/V \qquad (۳)$$

$$F_B = \frac{\rho_{fluid}\ m_{mass}\, g}{\rho_{mass}} \qquad (۴)$$

که در این رابطه m_{mass} جرم قسمتی از جسم که در مایع قرار گرفته است، می باشد. از این معادله می توانیم ρ_{mass} را بدست آوریم.

وقتی جسمی در شاره ای شناور می شود برآیند نیروهای وارد برآن صفر است، یعنی:

$$F_B = F_g \qquad (۵)$$

و بنابر اصل ارشمیدس وزن جسم برابر است با وزن شاره جابجا شده:

$$W_{fluid} = W_{mass} \qquad (۶)$$

بنابراین جرم جسم شناور با جرم شاره جابجا شده برابر است. با جایگذاری رابطه چگالی $\rho=m/V$ در رابطه (۵) خواهیم داشت:

$$\frac{\rho_{mass}}{\rho_{fluid}} = \frac{V_{fluid}}{V_{mass}} \qquad (۷)$$

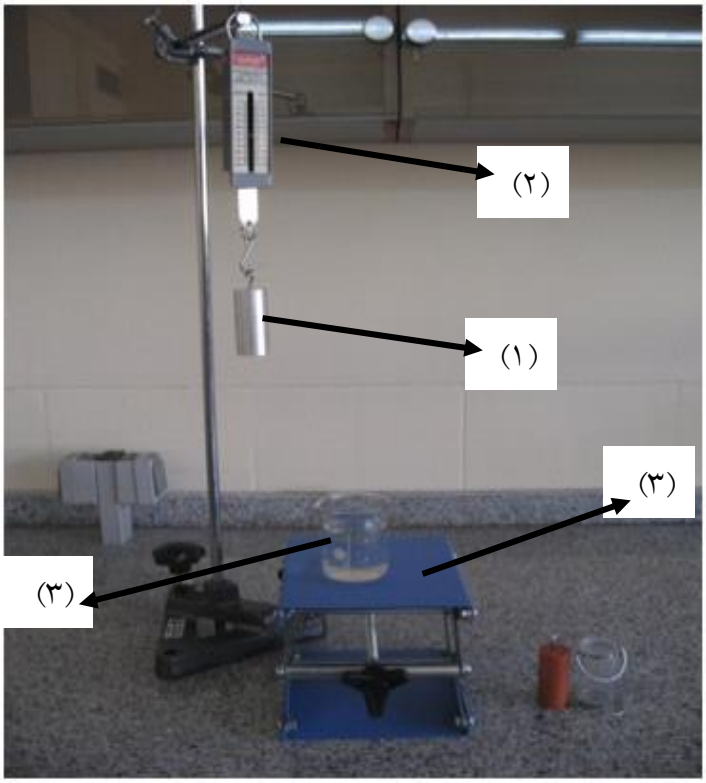
یعنی کسری از جسم که غوطه ور می شود برابر با نسبت چگالی جسم به چگالی شاره می باشد. اجسام شناور را می توان به عنوان معیاری برای اندازه گیری چگالی جسم یا شاره ای که جسم در آن شناور است به کاربرد. چگالی سنج ها نمونه چنین وسایلی هستند.

وسایل مورد نیاز

۱- میله، ۲- پایه، ۳-گیره برای نگه داشتن نیرو سنج ، ۴- میله شیاردار، ۵- نیرو سنج ۶- بشر، ۷- جک، ۸- استوانه ارشمیدس، ۹ – تکه چوب.

روش انجام آزمایش

شکل زیر نمائی از مجموعه وسایل آزمایش را نشان می دهد.



۱- استوانه ارشمیدس(۱)، (یا جسم مورد نظر) را به نیرو سنج (۲) وصل کنید و وزن آنرا توسط نیروسنج بخوانید (F) و در جدول شماره (۱) یادداشت کنید.

۲- حال بشر (۴) را از آب پر کرده و آنرا روی جک (۳) قرار دهید.

۳- جک را زیر نیرو سنج بگذارید. ارتفاع جک را به آرامی چنان تغییر دهید تا جسم متصل به نیرو سنج درون آب قرار گیرد.

۴- در هنگام فرو رفتن استوانه درون آب، به مقداری که نیرو سنج به شما نشان می دهد، دقت کنید. هنگامی که استوانه کاملا درون آب قرار گرفت، این نیرو را F' بخوانید و در جدول یادداشت کنید.

۵- مقدار $F_B = F - F'$ را بدست آورده و در جدول شماره (۱) یادداشت نمایید.

جدول شماره (۱)

جسم مورد نظر	F (N)	F'(N)	F_B(N)	$\rho_{mass}(g/cm^3)$	$\Delta\rho_{mass}(g/cm^3)$

۶- حال با توجه به رابطه (۴) و با در نظر گرفتن اینکه چگالی آب g/cm^3 ۱، چگالی جسم را بدست آورید.

۷- خطای دستگاهی چگالی را نیز محاسبه کرده و در جدول وارد نمائید.

۸- اینک بکمک کولیس ابعاد جسم را اندازه گرفته و با داشتن جرم آن، چگالی را بدست آورید.

۹- خطای دستگاهی محاسبه چگالی در مرحله (۸) را محاسبه نمائید.

جدول (۲) را کامل کنید.

جدول شماره (۲)

جسم مورد نظر	قطر (cm)	طول (cm)	عرض (cm)	ارتفاع (cm)	$\rho(g/cm^3)$	$\Delta\rho(g/cm^3)$

آزمایش شماره ۳

اندازه گیری چگالی مایعات

هدف: اندازه گیری چگالی مایع مجهول به روش Hair

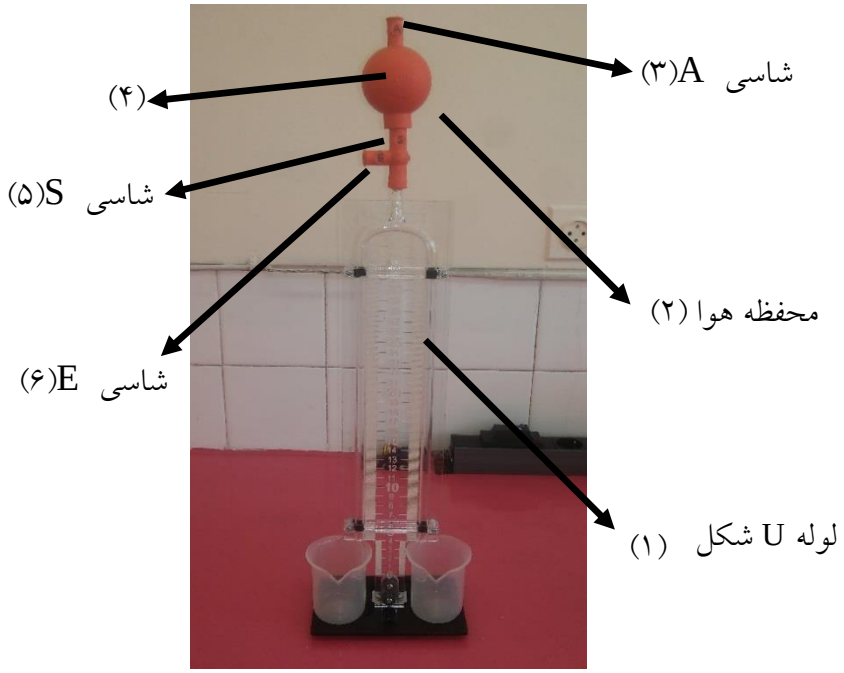
مبانی نظری

با استفاده از دستگاه هِر می توان چگالی چند مایع را بدست آورد و آنها را مقایسه کرد . دستگاه hair شامل لوله U شکلی است که بصورت معکوس تعبیه شده است (شکل (۱)). این لوله از انتها به یک محفظه هوا (۲) وصل شده که دارای دو سرِ باز است. اگر هوای بالای دستگاه مکیده شود، فشار جو، سطح مایعات موجود در بشر ها را بالا می آورد. پس از تعادل، میزان فشاری که مایعات متفاوت در نقاط مختلف ایجاد می کنند با یکدیگر برابرهستند. پس خواهیم داشت:

$$P_1 = P_2 \ \rightarrow \ \rho_1 g_1 h_1 = \rho_2 g_2 h_2 \ \rightarrow \ \rho_1 h_1 = \rho_2 h_2 \ \rightarrow \rho_2 = \frac{\rho_1 h_1}{h_2}$$

اگر در یک لوله، آب یا مایع دیگری با چگالی معلوم ρ_1 و در لوله دیگر مایعی با چگالی نامعلوم ρ_2 قرار داشته باشد، با اندازه گیری h_1 و h_2 , ρ_2 بدست می آید . اگر جسمی را به جای آنکه در آب فرو بریم، در الکل قرار دهیم، کمتر سبک می شود. به عبارت دیگر اگر جسم در داخل الکل فرو برده شود نیرو یی که الکل به آن وارد می کند کمتر است. در هر دو مورد مقدار حجم مایع جابه جا شده مساوی است. ولی چگالی مایع جابجا شده فرق می کند. چون چگالی الکل کمتر است، وزن الکل جا به جا شده از وزن آب جا به جا شده نیز کمتر است.

شکل (۱):دستگاه هِر (اندازه گیری چگالی مایعات)



وسایل مورد نیاز

۱- میله و پایه نگهدارنده، ۲- دستگاه هِر(U شکل)، ۳- دو عدد بشر، ۴- آب ، ۵- مایع مجهول،

۶- سرنگ (جهت تخلیه مایع درون بشر)

روش انجام آزمایش

به زیر دو سر آزاد لوله U شکل، دو عدد بشر قرار دهید. در یکی از آنها مقداری آب و در یکی مایع مجهول بریزید. همزمان با گرفتن شاسی A (۳)، و فشردن حباب(۴)، هوای داخل حباب تخلیه می شود. سپس با فشردن شاسی S (۵)، مایع از داخل لوله ها بالا می آید. این کار را آهسته انجام دهید و بسیار دقت کنید که دو مایع در

انتهای لوله U شکل با هم آمیخته نشوند. ارتفاع دو مایع را در جدول ثبت کنید. حال با فشردن شاسی E (۶)، لوله ها را تخلیه کرده و آزمایش را دو بارِ دیگر با ارتفاعهای متفاوت تکرار کنید. نتایج خود را در جدول (۱) ثبت نموده و چگالی مایع مجهول را بدست آورید.

$(\rho_w = 1\ ^{gr}/_{cm^3})$

جدول (۱)

$\Delta\rho(^{gr}/_{cm^3})$	$\rho(^{gr}/_{cm^3})$ مجهول	$h_2(cm)$	$h_1(cm)$	ρ معلوم
$\overline{\Delta\rho} =$	$\bar{\rho} =$			

مقدار خطای دستگاهی چگالی مایع $\Delta\rho$ را محاسبه و در جدول وارد کنید.

آزمایش شماره ۴

اندازه گیری ظرفیت گرمایی و گرمای ویژه جامدات

هدف: تعیین ارزش آبی یا ظرفیت گرمایی گرماسنج و اندازه گیری گرمای ویژه جامدات

مبانی نظری

ظرفیت گرمایی (ظرفیت گرمایی ویژه) از خصوصیت ماده می باشد و در طراحی وسایل و سیستمهایی که به نوعی با انرژی گرمایی سر و کار دارند مانند یخچال و انکوباتور (کودکان متولد شده در زمان قبل از ۹ ماه در این وسیله نگهداری می شوند) فلاسک و ... در محاسبات مصرف انرژی در نظر گرفته می شوند و بسته به هدف و کارایی دستگاه برای بهترین بازدهی و کارایی، مورد اندازه گیری و ارزیابی قرار می گیرند. ظرفیت گرمایی، مقدار گرمایی است که جسم می گیرد تا دمای آن یک درجه سانتی گراد بالا برود. ظرفیت گرمایی ویژه، مقدار گرمایی است که یک گرم از جسم می گیرد تا دمایش یک درجه سانتی گراد بالا برود.

در اندازه گیری ظرفیت گرمایی و ظرفیت گرمایی ویژه اجسام از دستگاهی به نام گرماسنج یا کالریمتر (شکل(۱)) استفاده می شود. برای یافتن ظرفیت گرمایی اجسام درون کالریمتر از قانون بقای انرژی و قانون صفرم ترمودینامیک استفاده می نمائیم. قانون صفرم ترمودینامیک بیان می کند:"اگر سیستم A و B هرکدام با سیستم C در تعادل گرمایی باشند، سیستم های A و B نیز با هم در تعادل گرمایی هستند."

اگر جسمی به جرم m با ظرفیت گرمایی ویژه c بدون تغییر حالت (تغییر فاز) از دمای θ_1 به دمای θ_2 برود میزان انرژی گرمایی دریافت شده و یا داده شده توسط جسم برابر است با:

$$Q=mC(\theta_2 - \theta_1) \qquad (1)$$

که علامت Q نشان دهنده ی دریافت کردن و یا از دست دادن انرژی توسط جسم است.

درون گرماسنج محفظه ای قرار دارد که سعی شده بخوبی عایق بندی حرارتی شود. کل محفظه و متعلقات درون آن (دماسنج و همزن...) در مجموع در تبادل حرارتی شرکت می کنند. بنابراین ظرفیت گرمایی گرماسنج برابر است با:

$$A = \sum_i m_i c_i \qquad (۲)$$

که m_i جرم و c_i ظرفیت گرمایی ویژه هر کدام از قطعات درون گرماسنج می باشند که در تبادل حرارتی شرکت می کنند. در این آزمایش ظرفیت گرمایی کالریمتر مورد استفاده و نیز ظرفیت گرمایی ویژه جسم جامد مورد نظر را بدست می آوریم.

شکل(۱): گرماسنج یا کالریمتر

وسایل آزمایش

۱- گرماسنج یا کالریمتر، ۲- استوانه مدرج،۳- کتر آب، ۴- دماسنج، ۵- جسم جامد، ۶- منبع گرمایی (در اینجا هیتر برقی).

روش انجام آزمایش

مرحله اول: تعیین ارزش آبی یا ظرفیت گرمایی کالریمتر

۱- کتر آب را پر کرده، هیتر را روشن نمایید و کتر را بر روی آن قرار دهید. دماسنج جیوه ای درون کتر قرار دارد که دمای آب را در هر لحظه نشان می دهد.

۲- ظرف اصلی یا محفظه آب دورن کالریمتر را خشک کنید. با فرض اینکه چگالی آب برابر یک گرم بر سانتی متر مکعب می باشد و با توجه به آنکه $۱cc=۱ml$ به کمک استوانه مدرج $۱۵۰cc$ آب (معادل ۱۵۰ گرم) درون کالریمتر بریزید و درب کالریمتر را ببندید. مقدار آب را m بنامید.

۳- مدتی صبر کنید تا کالریمتر با آب درونش به تعادل گرمایی برسد. دمای این مجموعه را، از دماسنج مربوطه بخوانید و آن را $\theta_۱$ بنامید.

۴- بعد از جوش آمدن آب کتر، دمای آب جوش را بخوانید و آنرا $\theta_۲$ بنامید.

۵- سپس درون کالریمتر آب جوش بریزید (حدود ۳/۴ کالریمتر بصورت چشمی پر شود). دقت کنید که ریختن آب طوری باشد که آب جوش تا حد امکان فرصت مبادله گرما با محیط را از دست بدهد تا خطا به حداقل برسد.

۶- با کمک همزن محتویات را هم زده و منتظر شوید تا دماسنج دمای ثابتی را نشان دهد. این دما را θ_e بنامید. این دما همان دمای تعادلِ آب سرد و آب جوش و کالریمتر است.

۷- حال به کمک استوانه ی مدرج جرم آب جوش را پیدا نموده و M بنامید.

۸- باداشتن اطلاعات فوق و اینکه ظرفیت گرمایی آب تقریباً c_w=۱cal/gr °C می باشد، از رابطه زیر ظرفیت گرمایی یا ارزش آبی کالریمتر را بیابید.

$$A = \frac{Mc_w(\theta_2-\theta_e)-mc_w(\theta_e-\theta_1)}{(\theta_e-\theta_1)} \qquad (۳)$$

۹- جدول (۱) را کامل کنید.

جدول (۱)

m(gr)	θ_1(°C)	θ_2(°C)	θ_e(°C)	M(gr)	C_w(cal/gr °C)	A(cal/°C)
					۱	

مرحله دوم آزمایش: تعیین ظرفیت گرمایی ویژه جسم جامد

۱- کتر آب را پر کرده، هیتر را روشن نمایید و کتر را بر روی آن قرار دهید.

۲- در حین انجام آزمایش و طی مراحل زیر می بایستی جدول (۲) را کامل کنید.

۳- جرم جسم جامد را اندازه گیری کرده آنرا M بنامید.

۴- ظرف اصلی یا محفظه آب کالریمتر را خشک کنید. با فرض اینکه چگالی آب برابر یک گرم بر سانتی متر مکعب می باشد و با توجه به آنکه ۱cc=۱ml به کمک استوانه مدرج ۱۵۰cc آب (معادل ۱۵۰ گرم) درون کالریمتر بریزید و درب کالریمتر را ببندید. مقدار آب را m بنامید.

۵- در این مرحله جسم مورد نظر را با یک نخ درون کتر آب جوش، در آب غوطه ور می کنیم. دقت کنید جسم به دیواره و کف کتر برخورد نکند. تا بجوش آمدن آب صبر کنید.

۶- در این مدت کالریمتر با آب درونش به تعادل گرمایی می رسد. دمای این مجموعه را از دماسنج مربوطه بخوانید و آن را دمای θ_1 بنامید.

۷- بعد از جوش آمدن آب کتر، دمای آب جوش را بخوانید و آنرا θ_2 بنامید. این دما دمای جسم غوطه ور در آن نیز می باشد.

۸- درب کالریمتر را بردارید و جسم را به سرعت در آن قرار دهید و به سرعت درب کالریمتر را ببندید. دقت کنید که این کار باید آنقدر سریع صورت گیرد که مجموعه، فرصت مبادله گرما با محیط را از دست بدهد و خطا به حداقل برسد.

۹- با کمک همزن محتویات را هم زده و منتظر شوید تا دماسنج دمای ثابتی را نشان دهد. این دما، همان دمای تعادل آب سرد، جسم جامد (استوانه فلزی) و کالریمتر می باشد.آن را θ_e بنامید.

۱۰- باداشتن اطلاعات فوق و اینکه ظرفیت گرمایی آب تقریباً c_w=۱cal/gr °C می باشد، از رابطه زیر ظرفیت گرمایی ویژه جسم را بیابید.

$$c = \frac{(mc_w+A)(\theta_e-\theta_1)}{M(\theta_2-\theta_e)} \qquad (۴)$$

۱۱- جدول (۲) را کامل کنید .

جدول (۲)

m(gr)	θ_1(°C)	θ_2(°C)	θ_e(°C)	M(gr)	C_w(cal/gr °C)	A(cal/°C)	C(cal/gr°C)
					۱		

به پرسش های زیر پاسخ دهید:

۱- آیا دمای آب جوش ۱۰۰°C است؟ چرا؟

۲- رابطه $A = \frac{Mc_w(\theta_2-\theta_e)-mc_w(\theta_e-\theta_1)}{(\theta_e-\theta_1)}$ از را اثبات کنید.

۳- در مرحله دوم آزمایش که جسم مورد نظر را با یک نخ درون کتر آب جوش در آب غوطه ور می کنید، چرا نباید جسم به دیواره و کف کتر برخورد کند؟

۴- رابطه $c = \frac{(mc_w+A)(\theta_e-\theta_1)}{M(\theta_2-\theta_e)}$ را اثبات کنید.

آزمایش شماره ۵

بررسی آونگ ساده

هدف: محاسبه شتاب گرانشی زمین با استفاده از آونگ ساده

مبانی نظری

در طبیعت اجسامی مشاهده می شوند که حول یک نقطه حرکت رفت و برگشت یا نوسان دارند. مانند زمانی که موتور ماشین روشن می شود. قسمت های موتور لرزش های ریزی دارند که ناشی از حرکت نوسانی آنها در یک بازه می باشد. این حرکات که در یک بازه صورت می گیرند، می توانند شکل خاصی داشته باشند. ساده ترین شکل نوسان را که نوسان سینوسی است، نوسان ساده می نامند. آونگی که زاویه انحراف و نوسان آن کوچک باشد (حدود ۶ درجه یا کمتر) و فنری که حول نقطه تعادلش کمی جابجا شود از بهترین مثال ها برای حرکت نوسان ساده است. در این آزمایش نوسان آونگ ساده بررسی می شود. به شکل (۱) توجه کنید:

هرگاه یک آونگ به طول L به اندازه زاویه θ منحرف شود، نیروهای گرانش و کشش نخ به آن وارد می شود. مؤلفه ای از نیروی وزن که در راستای نخ قرار گرفته است با نیروی کشش نخ خنثی می شود و مؤلفه دیگر که عمود بر راستای نخ است ($mg \sin\theta$) به عنوان نیروی برآیند باقی می ماند.

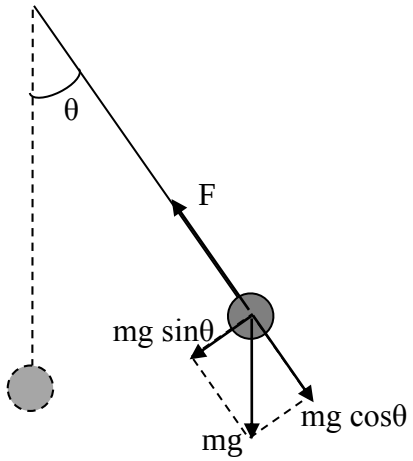
پس:

$$ma_T = mg \sin\theta \qquad (۱)$$

a_T شتاب خطی می باشد که به صورت رابطه زیر نوشته می شود:

$$a_T = \frac{d^2x}{dt^2} \qquad (۲)$$

شکل(۱): نمایش مؤلفه های نیرو در یک آونگ ساده



و با توجه به اینکه داریم $dx = Ld\theta$ ، می توان رابطه (۲) را چنین نوشت:

$$a_T = L\frac{d^2\theta}{dt^2} \qquad (۳)$$

با جایگذاری رابطه (۳) در رابطه (۱) خواهیم داشت:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} - \frac{g}{L}\sin\theta = 0 \qquad (۴)$$

جواب دقیق معادله دیفرانسیل بالا یک سری می باشد که با احتساب فقط دو جمله اول بدین صورت خواهد شد:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}\left(1 + \frac{\theta^2}{16} + \cdots\right) \qquad (۵)$$

ولی اگر θ به قدری کوچک باشد ($\theta \leq ۶°$) که بتوان $\sin\theta$ را همان θ در نظر گرفت رابطه (۴) بصورت زیر خواهد شد:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} - \frac{g}{L}\theta = 0 \qquad (۶)$$

معادله (۶) معادله نوسان ساده می باشد که جواب های آن بصورت سینوس یا کسینوس است. برای یک نوسان ساده دوره تناوب از رابطه (۷) بدست می آید:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \qquad (۷)$$

اما برای زوایایی که کمی بزرگتر از ۶ درجه می باشند رابطه زیر صادق است:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}\left(1 + \frac{\theta^2}{16}\right) \qquad (۸)$$

دقت شود که در روابط (۷) و (۸) زاویه θ بر حسب رادیان محاسبه می شود، یعنی:

$$\frac{\theta(\text{degree})}{180} = \frac{\theta(\text{Rad})}{\pi} \qquad (۹)$$

روش انجام آزمایش

وسایل مورد نیاز

۱- پایه آونگ، ۲- نقاله، ۳- سنسور U شکل، ۴- گلوله آونگ، ۵- دستگاه شمارنده.

نحوه استفاده از زمان سنج و شمارنده:

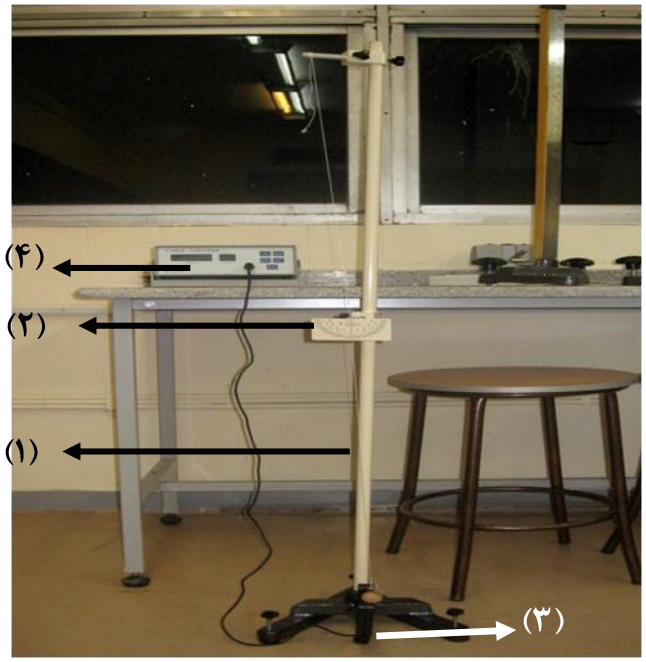
سیم رابطِ دوشاخه نوری حسگر را به زمان سنج و شمارنده وصل نمایید. دستگاه را به برق شهری وصل کنید. کلید دستگاه را در حالت on قرار دهید. دکمه up را آنقدر فشار دهید تا به تعداد نوسان مورد نظر، مثلا ۱۰ نوسان برسد. اگر به عددی بالاتر از عدد مورد نظر رسیدید، دکمه down را فشار دهید تا تعداد کم شود. نوسانگر را از بین دو شاخه حسگر نوری، به اندازه خواسته شده، منحرف کرده و رها کنید تا نوسان کند. به صفحه نمایش شمارنده توجه نمایید. با شروع نوسان دستگاه تعداد نوسانات را می شمارد. اگر پس از هر نوسان کامل، یک عدد از اعداد شمارنده کاسته شود، دستگاه درست کار می کند (در غیر این صورت، دوشاخه حسگر نوری در مکان

مناسب قرار نگرفته اند). بدین ترتیب، شمارنده شروع به شمارش کرده است و زمانِ تعداد نوسان های کاملی را که در نظر گرفته بودید، اندازه می گیرد. حال آزمایش را به ترتیب زیر اجرا کنید:

مرحله اول: محاسبه دوره تناوب آونگ ساده ($\theta \leq ۶^{o}$) و شتاب گرانشی از طریق آن

در شکل(۲) دستگاه آونگ ساده نشان داده شده است.

شکل (۲): نمایی از دستگاه آونگ ساده



۱- آونگ را به کمک پیچ پایه های آن (۱) بگونه ای تراز کنید که وقتی آونگ در حالت سکون است امتداد نخ در امتداد صفر نقاله (۲) قرار بگیرد.

۲- سنسور U شکل (۳) را همراه با میله ای که نقاله روی آن قرار دارد بگونه ای تنظیم کنید که گلوله آونگ به راحتی بتواند در بین حسگر نوسان کند و نخ آونگ با نقاله درگیر نشود.

۳- حال حسگر را به دستگاه شمارنده (۴) وصل نمایید. گلوله آونگ را تا جاییکه نخ با راستای میله زاویه ۶ درجه بسازد، منحرف کنید.

۴- مدت زمان ۱۰ نوسان کامل را در جدول وارد کنید.

جدول شماره (۱)

L(cm) طول آونگ	t(s) زمان ۱۰ نوسان کامل	T(s) دوره تناوب	T^2 (s^2)	$g(cm/s^2)$
۴۰				
۵۰				
۶۰				
۷۰				
				g_{Ave}=

۵- از تقسیم کل مدت نوسان بر تعداد نوسان های کامل، دوره نوسان آونگ بدست می آید.

۶- این آزمایش را برای طول های ۵۰، ۶۰ و ۷۰ سانتی متری انجام داده و جدول شماره (۱) را پر کنید.

۷- حال به کمک روابط مربوطه مقدار g را برای هر آزمایش بدست آورید و در جدول (۱) وارد کنید.

۸- روی کاغذ میلیمتری نمودار T^2 بر حسب طول آونگ L را رسم کنید، از روی شیب نمودار مقدار g را بدست آورید.

۹- با توجه به جدول (۱)، میانگین مقادیر g، اختلاف معیار، انحراف معیار و انحراف از میانگین g را بدست آورید. ($\overline{g} = \frac{\Sigma g_i}{N}$ و $\sigma^2 = \frac{\Sigma(g_i - \overline{g})^2}{N}$ و $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$ و $\sigma_{\overline{g}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$)

مرحله دوم: محاسبه دوره تناوب آونگ ($\theta \geq ۶^{\circ}$) و شتاب گرانشی از طریق آن

در این مرحله می خواهیم زاویه نوسان آونگ را بالا ببریم و با اندازه گیری دوره تناوب آونگ، صحت رابطه $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}(1 + \frac{\theta^2}{16} + \cdots)$ را تحقیق می نماییم.

۱- نحوه تنظیم طول و شمارنده نوسات آونگ و همینطور زاویه آونگ مانند قبل است.

۲- طول آونگ (L) را ثابت و برابر با ۸۰ cm بگیرید.

۳- آزمایش را همانند مرحله اول برای زوایای ۱۵و ۲۵ درجه، به تعداد ۵ نوسان انجام داده و جدول شماره (۲) را پر نمایید.

جدول شماره (۲)

L(cm)	θ(degree)	θ(Rad)	t(s) زمان ۵ نوسان کامل	T(s)	T^2 (s^2)	$g(cm/s^2)$
۸۰	۱۵					
۸۰	۲۵					
						g_{Ave}=

۴- اگر مقدار واقعی g برابر با $۹۷۶\ cm/s^2$ باشد، خطای مطلق و خطای نسبی را برای مقدار میانگین تجربی بدست آمده در جدول (۲) محاسبه کنید.

آزمایش شماره ۶

اندازه گیری ضریب حرارتی ژول

هدف: اندازه گیری ضریب حرارتی ژول (J)

مبانی نظری

کار مکانیکی و گرما دو گونهٔ مختلف انرژی هستند که می توانند به یکدیگر تبدیل شوند. بنابراین باید یکاهای مساوی داشته باشند. ولی چون در ابتدا، آن دو را کمیت های متفاوتی می پنداشتند، یکاهای آنها را بصورت مستقل تعریف کردند. به این ترتیب کار بر حسب ژول و گرما بر حسب کالری اندازه گیری می شوند.
نسبت انرژی مکانیکی بر حسب ژول به گرمای ایجاد شده از آن بر حسب کالری را معادل مکانیکی گرما می نامند و چون این نسبت را اولین بار «ژول» تعیین نمود به ثابت یا عدد «ژول» نیز مرسوم است که در آن ژول عددی ثابت است.

شکل (۱) کالریمتری را نشان میدهد که در آن مقداری آب ریخته شده و سیم مقاومت دار کالریمتر درون آب قرار گرفته و به منبع الکتریسیته وصل است. اگر جریانی که از سیم مقاومت دار می گذرد I و اختلاف پتانسیل V باشد، انرژی الکتریکی W که در زمان t در سیم پیچ ایجاد می شود، عبارت است از:

$$W=VIt \qquad (۱)$$

این انرژی سبب بالا رفتن دمای آب می گردد، پس مقدار گرمائیکه دمای m گرم آب را از $T_۱$ به $T_۲$ درجه بالا می برد از رابطه زیر حساب می شود:

$$Q=mC\Delta\theta \qquad (۲)$$

که در اینجا C ظرفیت گرمایی ویژه آب است که مقدارش در cgs برابر ۱ cal/g°C و در سیستم SI برابر ۴۲۰۰ J/kg°C می باشد، از طرفی $J = \frac{W}{Q}$ است پس با استفاده از روابط (۱) و (۲) دارید:

$$J = \frac{W}{Q} = \frac{VIt}{mC\Delta\theta} \qquad (۳)$$

چون در این آزمایش علاوه بر آب ظرف هم گرما می گیرد اگر ارزش آبی کالریمتر A در نظر گرفته شود رابطه (۳) به شکل زیر در می آید:

$$J = \frac{W}{Q} = \frac{VIt}{(mC+A)\Delta\theta} \qquad (۴)$$

در این آزمایش عدد ژول (J) به کمک حرارت تولید شده بوسیله عبور جریان الکتریسیته از سیم پیچ درون کالری متر محاسبه می شود.

وسایل آزمایش

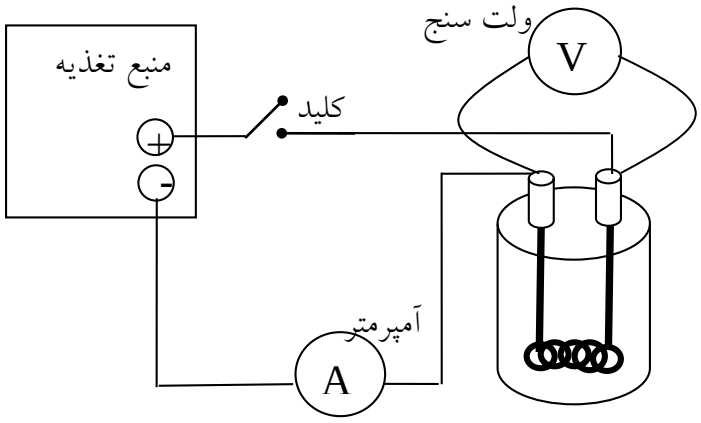
۱- کالریمتر، ۲- دماسنج، ۳- منبع تغذیه، ۴- زمان سنج، ۵- آمپرمتر، ۶- ولت متر، ۷- ظروف مدرج برای اندازه گیری حجم آب مانند استوانه مدرج، ۸- سیم های رابط.

روش انجام آزمایش

۱- ظرف داخلی کالریمتر را خشک کنید و سپس توسط ظرف مدرج، ۱۵۰ سی سی آب معمولی داخل آن بریزید (m = ۱۵۰ gr).

۲- مداری متوالی از منبع تغذیه، کالریمتر، آمپرمتر و کلید (سیمهای رابط بعنوان کلید هستند)، ببندید و سپس ولت متر را به طور موازی به کالریمتر وصل کنید (مطابق شکل (۱)).

شکل (۱): مدار متوالی (اندازه گیری ضریب حرارتی ژول)



۳- با بستن کلید ولتاژ منبع را طوری تنظیم کنید تا از مدار جریان یک آمپر بگذرد.

۴- کلید مدار را باز کنید و دمای اولیه t_1 را در جدول (۱) یادداشت کنید.

۵- کلید را ببندید و با راه اندازی کرنومتر مدت ۱۰ دقیقه صبر کنید تا جریان از مقاومت داخل کالریمتر عبور کند. ضمن انجام آزمایش چند بار به آرامی با همزن آب را به هم بزنید و در پایان زمان تعیین شده پس از قطع کلید و تثبیت دما، دمای t_2 را در جدول (۱) وارد کنید.

۶- آزمایش را بار دیگر برای جریانهای ۱/۵ و ۲ و ۲/۵ آمپر تکرار کنید و هر بار به مدت ۵ دقیقه و با تنظیم یک جریان مشخص در مدار، اختلاف دما (افزایش دما) را اندازه گیری کنید.

۷- در هر مرحله عدد ژول J و خطای اندازه گیری ΔJ را محاسبه کرده و جدول را کامل کنید. (مقدار A را از مسؤول آزمایشگاه بپرسید.)

جدول(۱)

ردیف	m(g)	t_1(°C)	t_2(°C)	V(v)	I(A)	t(sec)	J	ΔJ
۱								
۲								
۳								
۴								
						ΔJ میانگین		

آزمایش شماره ۷

بررسی ضریب انبساط طولی جامدات

هدف: اندازه گیری ضریب انبساط طولی میله فلزی

مبانی نظری

اتمهای جسم جامد به کمک نیروهای کولنی به یکدیگر متصل شده اند. وقتی به جسم گرما داده شود این اتمها قادر به نوسان خواهند بود و هر چه گرما بیشتر باشد دامنه نوسان نیز بزرگتر می باشد. این امر از دیدگاه ماکروسکوپیک به افزایش طول جسم جامد می انجامد. به صورت تجربی مشخص شده است که اگر $\Delta\theta$ میزان افزایش دما به قدر کافی کوچک باشد تغییر طول با تغییر دما و طول اولیه متناسب است. تغییر خطی هر بعدِ جسم جامد (مانند طول، عرض و یا ضخامت) را یک انبساط خطی می نامند. طبق تجربه رابطه طول با دما به صورت $L = L_0(1 + \alpha(\theta - \theta_0))$ می باشد که به صورت $\Delta L = \alpha L_0 \Delta\theta$ نیز می توان آنرا نمایش داد. در این رابطه L_0 ، θ_0 و L ، θ بترتیب طول ، دمای اولیه و طول ، دمای ثانویه می باشند. α ضریب انبساط خطی (طولی) و عبارت است از تغییر نسبی طول به ازای یک درجه تغییر دما (تغییر واحد طول جسم جامد به ازای یک درجه تغییر دما). جسم می تواند در دو بعد دیگر نیز انبساط پیدا کند و در نتیجه با افزایش دما انبساط سطحی و حجمی نیز خواهیم داشت که به ترتیب از رابطه های $\Delta A = 2\alpha L_0 \Delta\theta$ و $\Delta V = 3\alpha L_0 \Delta\theta$ بدست می آیند. ضریب انبساط طولی یکی از مشخصات ماده محسوب می شود که برای مواد مختلف دارای مقادیر متفاوت و نسبتاً ثابتی است. ضریب انبساط طولی مواد مختلف، اعدادی از مرتبه ی حدود 10^{-5} و بر حسب واحدهای $\frac{1}{C^0}$ یا $\frac{1}{K^0}$ است. معمولاً زمانی که یکی از ابعاد جسم جامد در مقایسه با دو بعد دیگر خیلی بزرگ باشد، فقط

تغییر همان بعد جسم (طول) مورد بررسی قرار می گیرد و هنگامی که یک بعد در مقایسه با دو بعد دیگر خیلی کوچک باشد، تغییر مساحت بررسی می شود. در این آزمایش انبساط طولی یک میله فلزی را بررسی کرده و رابطه $\Delta L = \alpha L_0 \Delta\theta$ را در مورد آن تحقیق می نماییم.

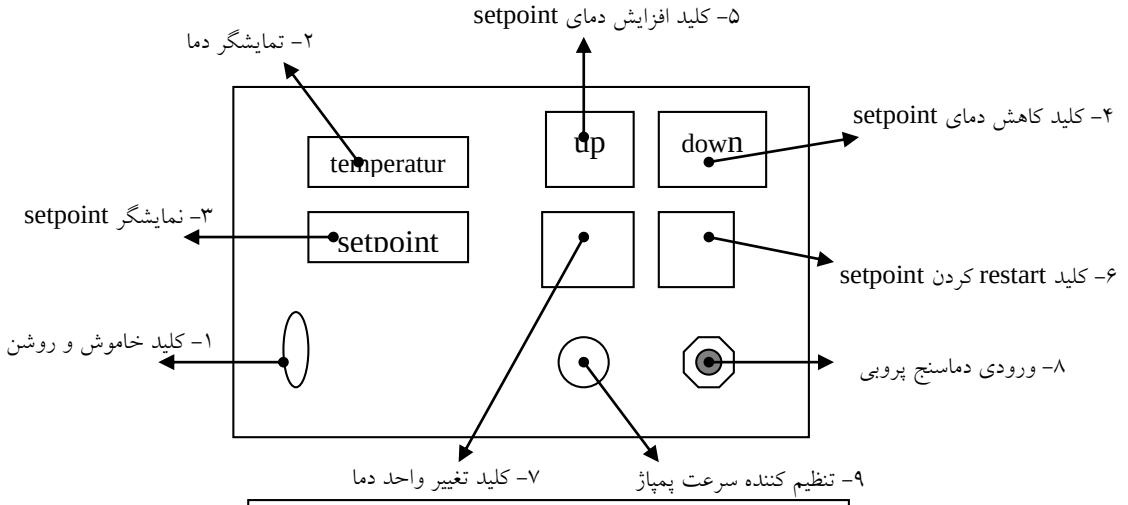
وسایل مورد نیاز

۱- دستگاه اندازه گیری ضریب انبساط طولی همراه با انبساط سنج میکرومتری ۲- میله فلزی توخالی (جسم جامد)

۳- دماسنج ۴- محفظه شیشه ای با عایق و لوله های پلاستیکی ۵- مخزن آب ۶- دستگاه هیتر با پمپ آب همراه با دستگاه کنترل دما ۷- یک بشر متوسط یا بزرگ.

روش انجام آزمایش

لازم است ابتدا به نکاتی توجه کنید و نحوه تنظیم مجموعه را یاد بگیرید، ابتدا به شکل (۱) که نمایی از دستگاه کنترل دماست توجه کنید:



شکل (۱) – دستگاه کنترل دما یا Temperature

۱- کلید خاموش / روشن

۲- نمایشگر دما، در صورت استفاده از دماسنج پروبی

۳- نمایشگر setpoint

۴- کلید کاهش دمای setpoint (Down)

۵- کلید افزایش دمای setpoint (Up)

۶- کلید Restart، setpoint را به دمای ۳۰°C برمی گرداند.

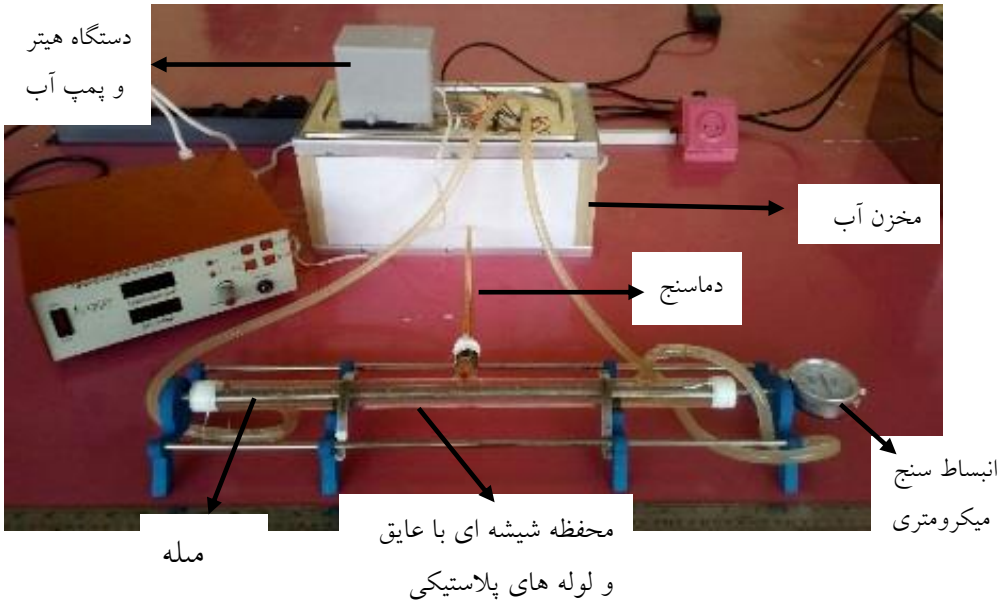
۷- °C/°K، کلید تغییر واحد دما

۸- ورودی دماسنج پروبی

۹- تنظیم کننده سرعت پمپاژ

چیدمان وسایل آزمایش در شکل (۲) نمایش داده شده است.

شکل(۲): چیدمان آزمایش اندازه گیری ضریب انبساط طولی جامدات



۲- نوک تماسی انبساط سنج طوری قرار دارد که با میله فلزی اتصال برقرار شود. با چرخاندن قسمت بالای انبساط سنج میکرومتری، آن را بر روی صفر تنظیم نمایید.

۳- در این مرحله کابل ورودی هیتر و پمپ آب را در محل خود در پشت دستگاه کنترل دما و هیتر، وصل نمایید.

۴- در صورت خالی بودن مخزن آب، با یک ظرف مناسب به میزان کافی (تقریباً پر) آب به درون مخزن بریزید. دقت کنید که آب بر روی قسمت الکتریکی هیتر و پمپ و میز کار نریزد.

۵- اگر دما از ۳۰°C بیشتر بود با بشر یا ظرف مناسبی که به شما داده شده است آب را تاحدی خالی و آب سرد جایگزین آن کنید تا دما به ۳۰°C یا پایین تر برسد.

۶- با راهنمایی سرپرست آزمایشگاه، سرعت پمپاژ را قبل از روشن نمودن دستگاه تنظیم نموده و بعد دستگاه را روشن نمایید اتصالات دستگاه را با دقت نگاه کنید تا نشتی آب وجود نداشته باشد. در صورت مشاهده نشتی دستگاه را خاموش کرده و سرپرست آزمایشگاه را در جریان قرار دهید.

۷- با نگه داشتن کلید Up (۵)، setpoint را برای دمای ۸۰°C تنظیم نمایید. بعد از آن هیتر شروع بکار نموده ودمای آب شروع به بالا رفتن می کند.

۸- طول میله فلزی (قسمتی که داخل مخزن لوله ای محتوی آب قرار گرفته) را با خط کش اندازه بگیرید.

۹- از دمای ۳۰°C درجه شروع کرده و میزان انبساط را هر ۵ درجه سانتیگراد ثبت و جدول (۱) را تکمیل نمایید. توجه کنید که θ_0 =۳۰°C و طول میله در ۳۰°C نیز L_0 می باشد.

جدول (۱)

دما (°C)	عدد انبساط سنج	L_1 (cm)	L_2 (cm)	L_2-L_1 (cm)	$\alpha\ (cm)$
۳۰					
۳۵					
۴۰					
۴۵					
۵۰					
۵۵					
۶۰					
۶۵					
۷۰					
۷۵					

۱۰- نمودار تغییرات طول میله بر حسب تغییرات دما را روی کاغذ میلی متری رسم کرده و از روی شیب نمودار ضریب انبساط طولی میله را محاسبه کنید. (نمودار باید خطی راست باشد، اگر چنین نبود باید خطی راست بر آن برازش کنید.)

۱۱- با توجه به مقادیر بدست آمده، مقدار انحراف متوسط از میانگین α را بدست آورید.

آزمایش شماره ۸

بررسی کشش سطحی مایعات

هدف: اندازه گیری کشش سطحی یک مایع مجهول

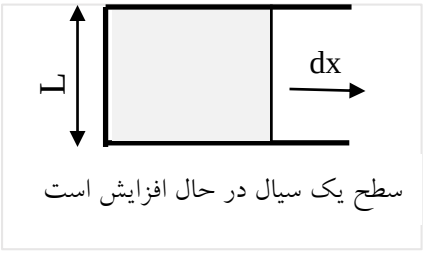
مبانی نظری

مولکولهای مایع در فاصله های بسیار نزدیک به هم نیروی جاذبه ای وارد می کنند که مقدار آن به جرم و مجذور فاصله مولکول ها بستگی دارد. در عمق معینی از مایع، برآیند نیروهایی که مولکولهای مجاور بر یک مولکول وارد می کنند صفر است، زیرا از هر طرف نیروی یکسانی به مولکول ها، اعمال می شود. اما در سطح یک مایع، برآیند نیروهای وارد بر مولکولها صفر نیست و نیروی وارد شده بر مولکولهای سطح مایع از طرف مولکولهای عمق مایع با نیروی ناشی از مولکولهای گاز یا هوای سطح مایع خنثی نمی شود. لذا سطح آزاد مایع دارای کمترین مساحت ممکن خواهد بود و از طرف این سطح بر لایه های درون مایع فشاری الاستیک وارد می شود. کار انجام شده به منظور آوردن یک مولکول از عمق مایع به سطح به صورت انرژی پتانسیل در مولکول ذخیره می شود و مولکولهای سطح مایع مقداری انرژی پتانسیل اضافه دارند. بر این اساس می توان ضریب کشش سطحی را به صورت "کار لازم به منظور افزایش سطح مایع به میزان واحد سطح" تعریف کرد. به ضریب کشش سطحی، کشش سطحی نیز می گویند.

اگر نیرو در واحد طولِ سطح سیال γ باشد، برای افزایش سطح سیالی به اندازه dx باید کاری معادل Fdx انجام داد که در آن $F=\gamma L$ می باشد. یعنی کار برابر با $W=\gamma Ldx$ است. کمیت Ldx چیزی جز میزان افزایش سطح

نیست. بنابراین، حاصل ضرب کشش سطحی در سطح همان میزان تغییر انرژی را می دهد. یعنی کشش سطحی همان انرژی در واحد سطح مرز سیال است. مطابق شکل(۱).

شکل(۱)



سطح یک سیال در حال افزایش است

در این آزمایش، برای اندازه گیری کشش سطحی از روش حلقه دونوی استفاده می کنیم. فرض کنید یک حلقه نازک روی سطح مایعی قرار می دهیم. اگر بتوانیم این حلقه را بصورت متقارن بالا بکشیم، طوری که حلقه کج نشود، مایع بعلت چسبندگی با حلقه همچنان به آن متصل خواهد ماند و یک پوسته استوانه ای مایع از پایین حلقه، دور تا دور آن آویزان می شود. اگر حلقه با نیروی F کشیده شود، مقدار این نیرو بر حسب کشش سطحی مایع با هوا و زاویه تماس آب با حلقه قابل محاسبه است (برای محاسبات دقیقتر وزن حلقه را نیز می توان در نظر گرفت). آب به علت کشش سطحی که دارد حلقه را پایین می کشد. وقتی شما حلقه را می کشید بر اساس میزان نیروی شما، زاویه آب با حلقه تغییر می کند به گونه ای که حلقه بصورت تعادلی می ایستد. در حین تغییر نیرو مشاهده می شود که یک نیروی بیشینه وجود دارد. در این نیرو آب متصل به حلقه به صورت عمود بر سطح تراز آب ایستاده و نیازی به در نظر گرفتن زاویه در محاسبات نخواهد بود. در واقع با کشیده شدن حلقه به بالا، به مرور زاویه آب با حلقه به صورت عمودی در می آید و جایی که نیرو بیشینه می شود، زاویه آب متصل به حلقه با راستای عمودی صفر است.

نیرویی که یک مرز آب به حلقه وارد می کند برابر با γL است که در آن L محیط حلقه می باشد.چون دو مرز آب و هوا داریم (داخل و بیرون پوسته استوانه ای)، در نهایت نیروی کل وارد بر حلقه برابر γL ۲ است. پس کشش سطحی مایع از رابطه زیر بدست می آید:

$$\gamma = \frac{F_{max} - W}{2L}$$

که در آن، W وزن حلقه است.

روش انجام آزمایش

داخل بشری تمیز، مقداری آب ریخته و آنرا روی جک قرار دهید. حلقه دونوی را با آب بشویید و بکمک نخ های متصل به آن، آنرا به قلاب نیروسنج بیاویزید. شکل(۲) نمایی از مجموعه ای که با آن کار می کنید نشان می دهد. محل اتصال نخ به حلقه را بگونه ای تنظیم کنید که حلقه افقی و صاف بایستد. وزن حلقه را بکمک نیروسنج بخوانید و W بنامید. پیچ جک را بپیچانید تا بشر بالا بیاید و حلقه داخل آب فرو رود (یا حلقه پایین آمده و درون آب فرو رود). سپس جک را آرام آرام پایین بیاورید تا حلقه به سطح آب برسد (یا حلقه بالا آمده و به سطح آب برسد) و توسط آب کشیده شود. در این حال نیروی نیروسنج را بخوانید و بیشینه آنرا پیدا کنید. قطر حلقه را بکمک کولیس بخوانید. جدول (۱) را کامل کنید.

آزمایش را سه بار تکرار کنید.

شکل(۲): مجموعه اندازه گیری کشش سطحی آب

جدول(۱)

	قطر(m)	L(m)	W(N)	F_{1max}(N)	F_{2max}(N)	F_{3max}(N)	$\overline{F_{max}}$(N)	γ (N/m)	$\Delta\gamma$(N/m)
حلقه کوچک									
حلقه بزرگ									

آزمایش شماره ۹

سقوط آزاد

هدف: بررسی حرکت سقوط آزاد و تعیین شتاب گرانش زمین

مبانی نظری

متداولترین مثال برای حرکت با شتاب (تقریباً) ثابت، سقوط یک جسم به طرف زمین است. گالیله دریافت که اجسام با جرم های مختلف، با شتاب یکسان g سقوط می کنند. ولی به علت تأثیر مقاومت هوا، سرعت سقوط اجسام مختلف در هوا متفاوت است. اما در خلاء، سقوط آزاد اجسام به جرم آنها بستگی ندارد. همچنین سقوط آزاد اجسام در نزدیکی سطح زمین، در خلاء با شتاب ثابت g و در راستای قائم صورت می گیرد. با انتخاب جهت مثبت محور y به سمت بالا و نیز قرار دادن مبدا مختصات o در نقطه شروع حرکت، به کمک معادله (۱) زیر می توان مختصات مکانی جسم را در هر لحظه یافت:

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 t \qquad (۱)$$

در این حال، هرگاه جسم مورد نظر از حال سکون رها گردد، $v_0 = 0$ خواهد بود و معادله فوق بصورت زیر ساده می گردد:

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 \qquad (۲)$$

معادله سرعت حرکت سقوط آزاد بر حسب زمان یک معادله خطی است که تا نقطه اوج، شیب خط منفی و حرکت کند شونده و از آن زمان به بعد حرکت شتابدار تند شونده با شیب مثبت می‌باشد:

$$v = -gt + v_0 \qquad (۳)$$

در معادله (۳)، v سرعت حرکت جسم می‌باشد.

معادله شتاب حرکت سقوط آزاد جسم مستقل از زمان بوده و در نزدیکی سطح زمین مقداری ثابت است و مقدار آن با دقت بالایی با شتاب گرانشی بر روی سطح زمین برابر است.

$$a = g = 9/8\, {}^{m}/_{s^2} \qquad (۴)$$

معادله نیرو در این حرکت همانند شتاب مستقل از زمان بوده و با نیروی وزن جسم برابر است:

$$F = ma = mg \qquad (۵)$$

معادله مستقل از زمان حرکت سقوط آزاد:

در این معادله سرعت اولیه و نهایی، ارتفاع سقوط و شتاب جاذبه در غیاب زمان به هم مربوط می شوند:

$$v^2 - v_0^2 = -2g(y - y_0) \qquad (۶)$$

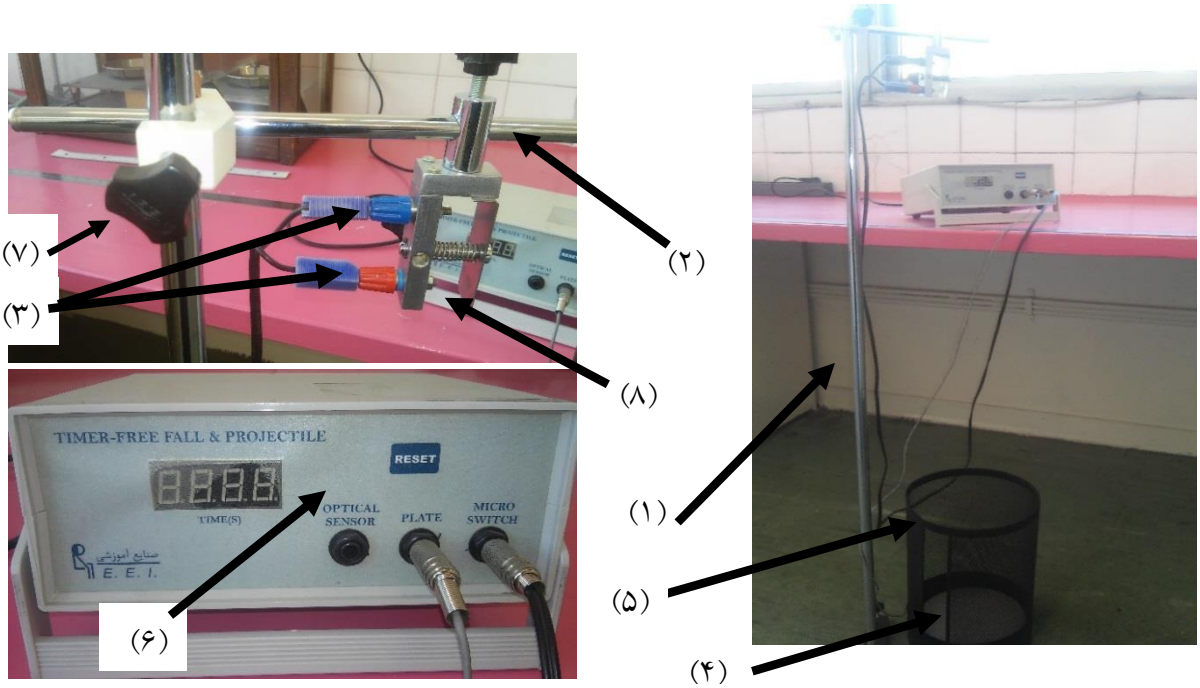
وسایل مورد نیاز

میله و پایه نگهدارنده، سنسور ضربه گیر، دستگاه شمارنده، سبد محافظ، توپ (یا جسم دیگر).

روش آزمایش

دستگاه سقوط آزاد مطابق شکل(۱)، شامل یک پایه نگهدارنده (۱) و یک میله نگهدارنده (۲) است. محل قرار دادن جسم و دو فیش (۳) جهت اتصال به سنسور شمارنده (۶)، به میله نگهدارنده پیچ شده است. یک سنسور ضربه گیر (۴) در محل سقوط جسم قرار دارد و روی آن یک سبد توری (۵) قرار می گیرد. سنسور ضربه نیز به یک دستگاه شمارنده متصل است.

شکل (۱): دستگاه اندازه گیری سقوط آزاد جسم



میله حاوی صفحه فلزی و فیشها به کمک گیره (۷) به پایه نگهدارنده متصل شده و با تغییر مکان گیره می توان ارتفاع سقوط را تنظیم نمود. فیشها از یک طرف به میله نگهدارنده و از طرفی به خروجی (micro switch) در دستگاه شمارنده متصل هستند. همچنین سنسور ضربه به خروجی (plate) شمارنده متصل می باشد.

۱- پس از انجام اتصالات، ابتدا پایه نگهدارنده را تراز نموده و سپس دستگاه شمارنده را روشن کنید.

۲- جسم را بین صفحه فلزی و مکان دو فیش (۸) مطابق شکل قرار داده و با دو انگشت دوصفحه را به سمت هم فشار دهید.

۳- حال دکمه reset را فشار دهید.

۴- با رها کردن دو صفحه، جسم بر روی سنسور ضربه سقوط کرده و شمارنده زمان سقوط را ثبت می کند.

۵- مطابق جدول برای هر ارتفاع ۵ بار زمان سقوط را ثبت کنید و با تغییر ارتفاع، جدول (۱) را تکمیل نمائید.

۶- منحنی تغییرات y بر حسب t^2 را رسم کرده و مقدار g را بدست آورید.

۷- خطای دستگاهی را برای شتاب گرانشی g بدست آورید.

جدول (١)

ارتفاع(m)	زمان (سقوط t_1(s	t_2(s)	t_3(s)	t_4(s)	t_5(s)	$\bar{t}$(s)	$\bar{t}^2$(s^2)	$g(m/s^2)$
٦٠								
٧٠								
٨٠								
٩٠								
١٠٠								