دانشگاه آزاد اسلامی واحد جهرم

دستور کار آزمایشگاه فیزیک۱

زمستان ۹۳

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

نکاتی در مورد روش کار در آزمایشگاه ۳

آشنایی با وسایل اندازه گیری ۱۱

آزمایش ۱ : اندازه گیری چگالی ۱۴

آزمایش ۲ : تحقیق قوانین حرکت به وسیله ماشین آتوود ۱۶

آزمایش ۳ : حرکت پرتابی ۱۹

آزمایش ۴ : نیروی اصطکاک ۲۳

آزمایش ۵ : قانون هوک ۲۷

آزمایش ۶ : بررسی امواج در محیط های کشسان ۳۰

آزمایش ۷ : بررسی قانون ژول ۳۴

آزمایش ۸ : تحقیق قانون بویل ماریوت ۳۷

آزمایش ۹ : تعیین ضرایب انبساط طولی فلزات ۳۹

آزمایش۱۰: میز نیرو ۴۱

نکاتی در مورد کار در آزمایشگاه :

رعایت نکات ایمنی و کار بر اساس دستورالعمل مشخص شده در هر آزمایشگاه از اصول کار در هر آزمایشگاه می باشد. آزمایشگاه فیزیک مکانیک و حرارت و ترمودینامیک دارای قوانین و نکات ایمنی خاص خود بوده و برای استفاده هر چه بیشتر از وقت آزمایشگاه و نتیجه گیری بهتر و افزایش بازده کار در آزمایشگاه رعایت نکات زیر توسط دانشجو الزامی است :

۱- کار با هر وسیله مستلزم آموزش توسط استاد و یا کارشناس آزمایشگاه می باشد، لذا قبل از آشنایی با طرز کار دستگاه، از دست زدن به آنها خودداری کنید.

۲- قبل از انجام هر آزمایش می بایست دستور کار آزمایش به دقت مطالعه شود و با آگاهی کامل مشغول به کار شوید .

۳- تمامی قطعات و تجهیزات مورد نیاز هر آزمایش را تحویل گرفته و در پایان کار به طور سالم تحویل کارشناس آزمایشگاه دهید. مسئولیت خرابی و یا شکستن و مفقود شدن هر وسیله بر عهده دانشجو می باشد.

۴- از رفت و آمد بین میزها در طول مدت آزمایش خودداری کنید.

۵- در حین انجام آزمایش دانشجو باید مراقب منابع خطا بوده و سعی شود تا آنهارا به حداقل برساند.

۶- در پایان کار آزمایشگاه دانشجو باید دفتر کار و نتایج بدست آمده را به امضاء استاد یا مسئول آزمایشگاه برساند تا در صورت لزوم آزمایش مجدداً تکرار گردد .

نحوه تهیه گزارش کار :

گزارش کار باید طوری تهیه شود که اطلاعات لازم را به صورت دقیق در اختیار خواننده قرار دهد و در عین کامل بودن شامل توضیحات اضافی نباشد. هر دانشجو باید گزارش کار مربوط به هر آزمایش را حداکثر تا یک هفته بعد از انجام آزمایش تحویل دهد.

یک گزارش کار کامل باید شامل قسمت های زیر باشد :

۱- صفحه اول:

به تر تیب شامل : عنوان آزمایش، نام و نام خانوادگی اعضای گروه، شماره دانشجویی، تاریخ انجام آزمایش، تاریخ تحویل گزارش کار، نام استاد، روز و ساعت برگزاری آزمایشگاه

۲- صفحات بعدی گزارش کار باید شامل موارد زیر باشد :

-عنوان آزمایش .

-هدف از انجام آزمایش : که باید به طور خلاصه بیان شود که هدف از انجام آزمایش چیست.

-وسایل مورد نیاز : تمامی وسایلی که در آزمایشگاه مورد استفاده قرار می گیرد و دقت هر یک ذکر گردد .
-تئوری آزمایش : در این قسمت قوانین فیزیکی که توصیف کننده آزمایش می باشد و چگونگی ارتباط آن قانون با پدیده مورد نظر توضیح داده شود .
-روش انجام آزمایش : مراحل انجام آزمایش همراه با تمام جزئیات به ترتیب نوشته شود که خواننده بتواند به ارزش علمی آن پی برده و هر گاه نیاز باشد آن را تکرار کند .
-جدولها : در این قسمت باید مقادیر اندازه گیری شده و یا محاسبه شده را همراه با واحد و خطای مربوطه در جدولهای تنظیم شده قرار دهد .
-نمودارها : نمودارها باید روی کاغذ میلی متری بدون خط خوردگی و دقیق رسم شود و ضمیمه گزارش کار گردد.
-نتایج اندازه گیری و بحث در نتایج : نتایج باید دقیق در جداول مربوطه ذکر گردد و قابل قبول بودن نتایج، مقایسه مقدار بدست آمده از طریق آزمایش و تئوری همراه با دلایل خطا و دیگر موارد به طور کامل توضیح داده شود و در پایان با یک نظر انتقادی تمام مراحل آزمایش را بررسی کرده و نظرات اصلاحی خود را بیان کنید .
-محاسبات نمونه : از هر سری محاسبات انجام شده در دفتر کار یک نمونه از آن باید به صورت کامل بیان شود .
-پاسخ به پرسشها : در این قسمت پرسشهای مطرح شده در پایان هر آزمایش را کامل جواب دهید

دقت یک وسیله اندازه گیری :

کمترین مقداری که از روی درجه بندی یک وسیله اندازه گیری خوانده می شود دقت آن وسیله نامیده می شود یا به عبارت دیگر دقت یک وسیله اندازه گیری تفاضل دو عدد متوالی روی دستگاه، تقسیم به تعداد فواصل مساوی بین آن دو عدد می باشد .

درستی یک وسیله اندازه گیری:

تنظیم و کالیبره بودن هر وسیله اندازه گیری درستی آن وسیله می نامند. درستی یک وسیله نشان می دهد که کمیت اندازه گیری شده توسط آن دستگاه به چه میزان به مقدار واقعی نزدیک تر است.

اندازه گیری و محاسبه خطاها :

هر چند اندازه گیری یک کمیت در آزمایشگاه با دقت زیاد انجام شود باز هم مقدار واقعی یک کمیت بدست نمی آید بلکه در هر اندازه گیری مقداری خطا یا اشتباه وجود دارد. در هنگام ارائه گزارش اندازه گیری و محاسبات می بایست تمامی خطاها لحاظ شود.

خطاها بطور کلی به دو دسته تقسیم می شوند :

الف : خطاهایی که قابل کنترل و پیشگیری اند (خطای منظم)

ب : خطاهایی که غیرقابل کنترل و تصادفی اند (خطای نامنظم)

الف : خطاهای غیرقابل کنترل :

۱. خطای وسیله :

در اصل و ذات دستگاه آزمایش و وسایل اندازه گیری خطاهایی وجود دارد که قابل اندازه گیری نمی باشند و در اندازه گیری تاثیر می گذارند.

۲. خطای شخصی یا دید :

اختلاف دید در خواندن درجه بندی ها از جمله این خطاهاست که با در نظر گرفتن اصول و روش های درست خواندن حین اندازه گیری یا گرفتن مقدار متوسط عددی یا حسابی از نتایج مکرر اندازه گیری می تواند تا حد قابل ملاحظه ای کاهش یابد .

۳. اشتباه در سوار یا میزان کردن دستگاه :

این اشتباه نیز در زمره خطاهای شخصی است، سوار کردن ناقص یک ترازو و یا میزان نکردن درجه گالوانومتر و از این قبیل جز این خطاها به شمار می آیند

ب : خطاهای تصادفی و غیر قابل کنترل :

در بعضی مواقع اشتباهاتی در اندازه گیری ها پیدا می شوند که چندان قابل کنترل نیستند مانند تغییرناگهانی فشار یا دمای محیط ، زمین لرزه و عواملی از این قبیل .

روش محاسبه خطاها :

در اندازه گیری یک کمیت هر اندازه گیری را چندین بار در شرایط یکسان با یک وسیله مشخص تکرار می کنند ؛ این عمل باعث کاهش بعضی از عوامل خطا می شود . مقدار میانگین مقادیر اندازه گیری شده به عنوان بهترین مقدار کمیت مورد نظر در اندازه گیری انجام شده می باشد که به مقدار واقعی نزدیک تر است .

فرض کنید $X_1, X_2 \ldots X_n$. نتایج حاصل از یک اندازه گیری باشند در این صورت مقدار میانگین از رابطه زیر بدست می آید :

$$\chi_m = \bar{\chi} = \frac{\chi_1 + \chi_2 + \ldots + \chi_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \chi_i}{n}$$

محاسبه خطای مطلق :

بطور کلی اگر نتیجه اندازه گیری برای یک کمیت با X نمایش داده شود و اندازه واقعی آن کمیت که برای ما غیر معلوم است با $\chi + \Delta\chi$ نمایش دهیم ، تفاضل این مقدار یعنی

$$|\chi - (\chi + \Delta\chi)| = \Delta\chi$$

خطای مطلق اندازه گیری می نامند .

۱ـ محاسبه خطای مطلق کمیت هایی که از طریق اندازه گیری مستقیم به دست آمده اند: (در اندازه گیری مستقیم وسیله ای که در اختیار داریم می تواند کمیت مورد نظر ما را مستقیماً اندازه گیری کند مثلاً اندازه گیری طول با خط کش).

اگر $x_1, x_2, ..., x_n$ نتایج حاصل از یک اندازه گیری برای یک کمیت باشد میانگین این مقادیر یعنی $\overline{X}$ محتمل ترین مقدار برای X خواهد بود؛ برای محاسبه خطای مطلق این اندازه گیری از روش زیر استفاده می کنیم:

$$\Delta X_1 = \left|X_1 - \overline{X}\right|;\ \ \Delta X_2 = \left|X_2 - \overline{X}\right|;\ \ \Delta X_3 = \left|X_3 - \overline{X}\right|$$

خطاهای اندازه گیری در محاسبه هر کمیت

$\overline{\Delta X} = \dfrac{\Delta X_1 + \Delta X_2 ... + \Delta X_n}{n} = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} \Delta X i}{n}$ میانگین خطای مطلق یا ظاهری

نکته ۱ : به هرحال نتیجه اندازه گیری باید به صورت زیر نوشته شود:

$$X = \overline{X} \pm \Delta \overline{X}$$

نکته ۲: اگرخطای مطلق که از رابطه بالا محاسبه می شود کمتر از دقت وسیله اندازه گیری شود در این صورت به جای خطای مطلق دقت وسیله اندازه گیری را قرار می دهیم یا به عبارت دیگر کمترین مقدار خطای یک کمیت اندازه گیری شده دقت وسیله اندازه گیری می باشد.

خطای نسبی:

با در دست داشتن خطای مطلق به دقت آزمایش نمی توان پی برد زیرا باید دید که این میزان خطا مربوط به چه اندازه کمیت است لذا خطای نسبی را باید به دست آورد.

نسبت $\dfrac{\Delta X}{X}$ را خطای نسبی می نامند. خطای نسبی چون نسبت دوکمیت هم جنس است بدون بعد می باشد.

هر چه خطای نسبی در اندازه گیری کمیتی کوچکتر باشد، آن اندازه گیری دقیق تر می باشد. درصد خطای نسبی در اندازه گیری یک کمیت از ضرب خطای نسبی در ۱۰۰ به دست می آید.

لازم به ذکر است که برای محاسبه و مقایسه دقت اندازه گیری چندکمیت مختلف از درصد خطای نسبی استفاده می شود.

مثال: طول میله ای را توسط وسیله ای با دقت $0.1(mm)$ سه بار اندازه گیری کرده ایم و مقادیر زیر به دست آمده اند. خطای مطلق و خطای نسبی این وسیله اندازه گیری را به دست آورید.

$$X_1 = 12.1(mm)$$
$$X_2 = 12.2(mm)$$
$$X_3 = 12.6(mm)$$

پاسخ:

$$\overline{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3} = \frac{12.1+12.2+12.6}{3} = 12.3(mm)$$

$$\Delta X_1 = \left|X_1 - \overline{X}\right| = |12.1-12.3| = 0.2(mm)$$
$$\Delta X_2 = \left|X_2 - \overline{X}\right| = |12.2-12.3| = 0.1(mm)$$
$$\Delta X_3 = \left|X_3 - \overline{X}\right| = |12.6-12.3| = 0.3(mm)$$

$$\overline{\Delta X} = \frac{|\Delta X_1| + |\Delta X_2| + |\Delta X_3| +}{3} = \frac{0.2+0.1+0.3}{3} = 0.2$$

خطای نسبی $\frac{\overline{\Delta X}}{X} = \frac{0.2}{12.3} = 0.0162$

درصد خطای نسبی $\frac{\overline{\Delta X}}{X} \times 100 = 1.62$

۲ـ محاسبه خطای مطلق کمیت هایی که از اندازه گیری **غیر مستقیم** به دست آمده اند:

در روش محاسبه غیر مستقیم اندازه گیری یک کمیت را از طریق اندازه گیری مستقیم کمیت های دیگر و با استفاده از یک قانون فیزیکی یا یک رابطه ریاضی به دست می آورند مانند محاسبه سرعت از رابطه $v = \frac{x}{t}$ که مسافت و زمان را اندازه گیری مستقیم و سرعت را از اندازه گیری غیر مستقیم به دست می آوریم:

۱ــ روش Ln گیری:

لگاریتم هر عدد در پایه عدد نپر را Ln آن کمیت می نامند یعنی می توان نوشت:

$Lnx= \log_e X$

(عدد نپر) $e =2.71828182$

برای محاسبه خطای مطلق از این روش، ابتدا از طرفین رابطه Ln گیری کرده و سپس عمل دیفرانسیل گیری را انجام دهید؛ لازم به ذکر است که در این روش از روابط زیر استفاده نمایید:

1) $Ln(AB) = LnA + LnB$

2) $Ln(\frac{A}{B}) = LnA - LnB$

3) $Ln(1) = 0$

4) $\frac{d}{d_x} Ln(f\ (x)) = \frac{\frac{d}{d_x} f\ (x)}{f\ (x)}$

5) $Ln(A^n) = nLnA$

مثال ۱: شعاع کره ای را از اندازه گیری به دست آورده ایم، خطای مطلق در اندازه گیری حجم کره را بدست آورید.

پاسخ :

$$V\ (r) = \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$LnV_{(r)} = Ln\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right) = Ln\,\frac{4}{3} + Ln\pi + Lnr^3$$

$$dLn(V_{(r)}) = dLn\,\frac{4}{3} + dLn\pi + d\,(3Lnr)$$

جمله اول و دوم صفر است زیرا دیفرانسیل عدد ثابت صفر است:

$$dLn(V_{(r)}) = 3dLn(r) \rightarrow \frac{dV_{(r)} \diagup dr}{(V_{(r)})} = 3\frac{dr}{r} \rightarrow dV(r) = 3V_{(r)}\frac{dr}{r}$$

تذکر: در این روش به جای هر کمیت مقدار متوسط آن کمیت را بگذارید:

$$\Delta V(r) = 3\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right)\frac{\Delta r}{r} = 4\pi r^2 \Delta r \qquad \left(r = \bar{r}\right)$$

مثال ۲: در معادله زیر m_1 و m_2 و r کمیت هایی هستند که از اندازه گیری مستقیم به دست آمده اند. خطای مطلق در اندازه گیری نیروی F را محاسبه کنید:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$ (G ثابت گرانش)

پاسخ:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$LnF = LnG + Lnm_1 + Lnm_2 - 2Lnr$$

$$dLnF = dLnG + dLnm_1 + dLnm_2 - 2dLnr \rightarrow \frac{dF}{F} = \frac{dm_1}{m_1} + \frac{dm_2}{m_2} - 2\frac{dr}{r}$$

نکته: چون در محاسبه خطاها هدف ما محاسبه مقدار ماکزیمم خطا می باشد، در این روش هر جا که علامت منفی مابین خطاها ظاهر شود باید تبدیل به مثبت شود.

$$\frac{dF}{F} = \frac{dm_1}{m_1} + \frac{dm_1}{m_1} + 2\frac{dr}{r}$$

رسم نمودار:

نمودارها برای دو منظور نمایشی و محاسبه ای بکار می روند. هر گاه نمودار نمایش تغییرات یک کمیت را مستقیماً بر حسب کمیت دیگر نشان دهد منحنی را نمایشی گویند. از نمودار نمایشی برای نشان دادن نحوه تغییرات کمیت ها استفاده می شود.

برای کسب اطلاعات دقیق و اندازه گیری کمیت ها بایستی از نمودار محاسبه ای استفاده کرد که بیشتر در آزمایشگاه رسم می شوند و همیشه به صورت خط راست بوده و اطلاعات لازم از تعیین عرض از مبدا و شیب خط به دست می آید.

برای رسم نمودار باید نکات زیر را رعایت کرد:

۱ـ تعیین محورهای مختصات: نام هر محور به همراه واحد کمیت نشان داده شده در کنار آن نوشته شود.

۲ـ تعیین مبداء مختصات: با توجه به شرایط آزمایش مبداء مختصات را مشخص می کنیم.

۳ـ تعیین مقیاس: با توجه به محدوده تغییرات متغیرها و تقسیمات کاغذ، مقیاس مناسبی را برای هر دو محور انتخاب کنید که دارای شرایط زیر باشد:

الف : بتوان تقسیمات جزء را حتی المقدور و از روی تقسیمات کاغذ تشخیص داد.

ب: نمودار همه کاغذ را در بر گیرد (حداقل از نصف بیشتر)

۴ـ نقاط تجربی: نقاط متناظر با داده های تجربی مسأله را باید روی کاغذ میلیمتری مشخص کرد.

۵ـ رسم خط: خط بایستی طوری رسم شود که پراکندگی نقاط تجربی حول آن یکنواخت باشد یعنی مجموع فواصل عمومی نقاطی که یک طرف خط واقعند تاخط تقریباً برابر با مجموع فواصل عمودی نقاطی که در طرف دیگر خط واقعند باشد.

تذکر ۱: در صورتی که نقطه (نقاطی) نسبت به اکثر نقاط آزمایش همخوانی نداشته باشند باید از آن نقطه صرف نظر کرد.

تذکر۲: گاهی ممکن است بهترین خط ممکن از هیچ یک از نقاط تجربی عبور نکند.

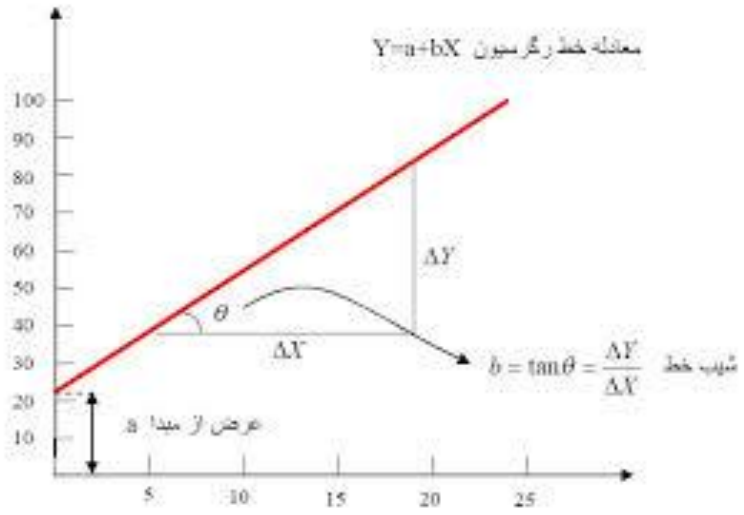
۶ـ مشخص کردن نقاط تجربی: نقاط تجربی را بایستی با کشیدن دایره کوچک، مربع کوچک، و... حول نقطه مشخص کرد.

۷ـ عنوان نمودار: برای هر نمودار در بالای کاغذ بایستی عنوان مناسبی مشخص کرد.

محاسبه شیب خط و خطای مطلق در اندازه گیری:

اکنون نتیجه ای را که دنبالش هستیم به راحتی می توان از روی شیب نمودار به دست آورد؛ کافی است که عرض از مبداء و شیب خط را تعیین کنیم. برای محاسبه شیب خط دو نقطه را روی خط در نظر می گیریم که حتی المقدور از هم دور باشند. می دانیم که شیب خط فوق یک کمیت فیزیکی است و در اکثر موارد دارای واحد می باشد و به صورت تانژانت زاویه محاسبه می گردد ولی برابر با زاویه ای نیست که خط مورد نظر با محور افقی می سازد و از رابطه زیر به دست می آید.

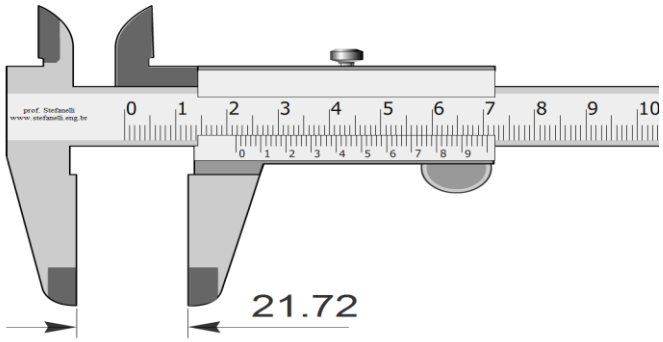
$$S = \frac{y_B - y_A}{X_B - X_A}$$



آشنایی با وسائل اندازه گیری:

نوع وسیله ای که برای اندازه گیری بخصوصی انتخاب می شود بستگی به اندازه آن کمیت و دقتی که برای اندازه گیری آن لازم است، دارد. انواع وسائلی که در آزمایشگاه فیزیک (۱) استفاده می شود و نحوه کار با آنها به قرار زیر است:

۱ـ کولیس: کولیس وسیله ای است که با آن می توان ضخامت و یا طول خارجی، قطر داخلی، عمق و ارتفاع یک جسم را اندازه گیری کرد، (شکل۱) و شامل قسمت های زیر می باشد:



۱ـ خط کش: بدنه اصلی خط کش است که بر حسب سانتی متر و میلی متر بوده و ارقام روی ان بر حسب میلی متر خوانده می شود.

۲ـ ورنیه: قسمت متحرک مدرج شده ورنیه نامیده می شود. دقت کولیس به درجه بندی روی ورنیه بستگی دارد به صورتی که اگر ورنیه به n قسمت مساوی تقسیم شود دقت آن برابر با $\frac{1}{n}$ می باشد.

۳ـ شاخک های خارجی (پایه ها): برای اندازه گیری قطر یا ضخامت خارجی اجسام از این پایه ها استفاده می شود.

۴ـ شاخک های داخلی (کوچکتر): برای اندازه گیر قطر یا ضخامت داخلی اجسام از این شاخک ها استفاده می شود.

۵ـ تیغه انتهایی یا عمق سنج: برای اندازه گیری عمق اجسام انتهایی خط کش را بر لبه جسم قرار داده و ورنیه را تا آخر به پایین می کشیم در این حالت عمق جسم را می خوانیم.

۶ـ پیچ تثبیت ورنیه: که روی ورنیه قرار دارد و با سفت کردن آن ورنیه محکم شده و می توانیم عدد نشان داده شده را بدون خطا بخوانیم.

ـ روش اندازه گیری با کولیس:

جسم را بین شاخک های کولیس قرار داده و قفل ورنیه را محکم می کنیم و مراحل زیر را جهت خواندن درجه کولیس بکار می بندیم.

الف : خط صفر ورنیه را نگاه می کنیم تا بین کدام یک از دو خط خط کش قرار دارد سپس از روی خط کش عدد کوچک تر را انتخاب می کنیم.

ب : بهترین خط منطبق ورنیه بر خط خط کش را پیدا کرده و تعداد درجات را از صفر مبنا تا آن درجه را شمرده، در دقت کولیس ضرب کرده و با عدد قبلی جمع می کنیم:

$$a = p + \frac{1}{n}q$$

a : کمیت خوانده شده توسط کولیس

p :تعداد درجاتی از خط کش که توسط صفر ورنیه طی شده.

n: تعداد تقسیمات ورنیه

q : شماره درجه ای از ورنیه که با خط بالای خود روی خط کش منطبق شده.

حالت خاص: در صورتی که دو خط ابتدا و انتهای ورنیه دقیقاً بر دو خط خط کش منطبق باشد در این صورت ارقام بعد از ممیز (با توجه به دقت کولیس) صفر می باشد مثلاً 15.00 میلیمتر.

۲ـ ترازوی یک کفه ای سه اهرمی:

برای اندازه گیری وزن اجسام مختلف تا مقدار (gr) 2600 از این نوع ترازو استفاده می شود (شکل۲).

دقت این ترازو (gr)0.1 می باشد. این ترازو سه اهرم با وزنه متحرک می باشد. اولین اهرم دارای دقت(gr) 10، بازوی وسط دارای دقت (gr)100 و بازوی جلویی دارای دقت (gr)0.1 می باشد.

برای اندازه گیری ابتدا سه وزنه متحرک را روی صفر قرار داده، در این حالت شاخص ترازو باید مقابل صفر باشد.

در صورت کالیبره نبودن ترازو، توسط پیچی که در زیر کفه قرار دارد می توان ترازو را صفر کرد، سپس جسم مورد نظر را روی کفه قرار داده و متناسب با وزن آن وزنه های متحرک را جلو آورده تا دوباره شاخص روی صفر قرار گیرد در این حالت وزن جسم برابر مجموع اعدادی است که در روز بازوها قرائت می شود به عنوان مثال در صورتی که بخواهیم وزن جسمی را بیشتر از (600(gr است با این ترازو اندازه گیری کنیم از وزنه های اضافی که در انتهای هر بازو قرار می گیرد استفاده می کنیم که در این صورت وزن جسم برابر با عددی است که از روی بازوها خوانده می شود به علاوه وزنه ای که آویزان می باشد.

۳ـ زمان سنج (کرونومتر):

زمان انجام یک رویداد یا یک آزمایش را با زمان سنج هایی با دقت 0.2 ثانیه اندازه گیری می کنیم . کرنومتر عقربه ای شامل دکمه ای می باشد که با یک بار فشردن شروع به کار می کند و با فشردن مجدد همان دکمه متوقف می شود و اگر برای بار سوم فشرده شود صفر می شود.

در هر نوع زمان سنج حدود 0.04 تا 0.05 ثانیه خطای هر بار قطع و وصل توسط شخص وجود دارد. (شکل ۳)

آزمایش ۱

اندازه گیری چگالی

هدف آزمایش:

درک مفهوم چگالی و جرم حجمی و اندازه گیری چگالی برخی از اجسام.

وسائل مورد نیاز:

کولیس، استوانه مدرج، ترازو، وزنه، استوانه فلزی، مکعب های فلزی از جنس های مختلف، مقدار نخ.

تئوری آزمایش:

جرم واحد حجم هر جسم جرم حجمی یا جرم مخصوص نام دارد. واحد آن $\left(gr/cm\right)$ یا kg/m^2 می باشند. جرم حجمی هر جسم از تقسیم جرم بر حجم آن جسم بدست می آید. $\left(\rho=\frac{m}{V}\right)$. نسبت جرم یا وزن دو چگالی گازها را نسبت به هوا می سنجند. چون چگالی یک نسبت است واحد ندارد.

روش انجام آزمایش :

الف)

۱- ارتفاع استوانه فلزی را به کمک کولیس سه بار اندازه گیری کنید. (h)
۲- قطر داخلی استوانه فلزی را به کمک کولیس سه بار اندازه گیری کنید. (d_1)
۳- قطر خارجی استوانه فلزی را به کمک کولیس سه بار اندازه گیری کنید. (d_2)
۴- جرم استوانه فلزی را با ترازو و یک بار اندازه گیری کنید. (m)
۵- با استفاده از رابطه زیر حجم استوانه را محاسبه کنید و خطای مطلق و نسبی در اندازه گیری حجم را برآورد کنید.

$$V=\pi\left(\frac{d_2}{2}\right)^2 h-\pi\left(\frac{d_1}{2}\right)^2 h=\frac{\pi h}{4}(d_2{}^2-d_1{}^2)\quad cm^3$$

۶- با استفاده از رابطه $\left(\rho=\frac{m}{V}\right)$ جرم حجمی و خطای مطلق و نسبی در اندازه گیری آن را محاسبه کنید و از روی مقدار بدست امده برای چگالی جنس استوانه را معین کنید.
۷- نتایجی را که بدست آوردید در جدول ۱-۱ یادداشت کنید.

جدول ۱-۱:

	$d_2(mm)$ قطر خارجی			$d_1(mm)$ قطر داخلی			$\bar{d}_2$ (mm)	$\bar{d}_1$ (mm)	$h(mm)$ ارتفاع			$\bar{h}$ (mm)	$m(gr)$	$\bar{V} \pm \Delta V$ (cm^3)	$\bar{\rho} \pm \Delta\rho$ gr/cm^3
استوانه فلزی															

ب) محاسبه جرم حجمی استوانه فلزی به کمک استوانه مدرج:

- روش انجام آزمایش:

۱- جرم استوانه فلزی را به کمک ترازو یک بار اندازه گیری کنید. (m).

۲- مقداری آب داخل استوانه مدرج ریخته و حجم اولیه آن را بخوانید (V_1).

۳- استوانه فلزی را با ریسمان محکم بسته و داخل استوانه مدرج به آرامی قرار دهید و حجم (V_2) را بخوانید.

۴- حجم استوانه فلزی برابر با $V = V_2 - V_1$ را بدست آورید.

۵- چگالی استوانه فلزی را بدست آورید وجنس آن را معین کنید.

۶- مقدار بدست آمده از این طریق را با مقداری که از روش قبل بدست آورید مقایسه کنید.

۷- جدول ۱-۲ را کامل کنید.

جدول ۱-۲ :

	$m(gr)$	$V_1(cm^3)$	$V_2(cm^3)$	$V = V_1 - V_2$ (cm^3)	$\rho(gr/cm^2)$
استوانه فلزی					

آزمایش ۲

تحقیق قوانین حرکت به وسیله ماشین آتوود

هدف آزمایش :

تعیین شتاب حرکت در دستگاه های مختلف و تعیین شتاب ثقل ()

وسایل مورد نیاز :

قرقره ، نخ ، دو کفه به جرم های یکسان ، تعدادی وزنه با جرم های مختلف ، کرنومتر دیجیتالی ، گلوله فلزی ، دستگاه سقوط آزاد ، متر پارچه ای ،گیره و پایه .

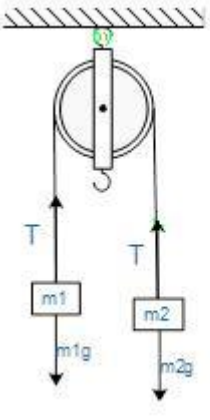
تئوری آزمایش :

قانون دوم نیوتن را اغلب معادله حرکت می نامند . طبق این قانون چنان چه نیرویی روی جسم عمل کند به آن شتابی هم راستای نیرو با مقداری متناسب با عکس جرم جسم می دهد($F = ma$) برای اندازه گیری شتاب یک جسم یا در حالت کلی شتاب یک سیستم باید نیروهای وارد بر سیستم ، همچنین جرم های موجود در آن مشخص باشد. در این آزمایش می خواهیم شتاب حرکت را در حالت های زیر بررسی کنیم .

۱- ماشین آتوود :

ماشین آتوود تشکیل شده است از دو وزنه به جرم های مشاوی که به دو سر رشته نخی سبک که از روی قرقره بدون اصطکاکی می گذرد آویزانند . هر گاه روی از وزنه ها سر بار کوچکی قرار داده شود دستگاه در اثر نیروی این سربار با شتابی که متناسب با جرم سربار است شروع به حرکت می کند.

اگر از جرم نخ و قرقره و اصطکاک ما بین آنها صرف نظر کنیم تحت این شرایط نخ صرفاً نیرو را از یک طرف به طرف دیگر منتقل می کند و نیروی کشش در دو طرف یکسانند و روابط زیر را داریم :



$$F = ma$$
$$m_2 g - T = m_2 a$$
$$T - m_1 g = m_1 a$$

از جمع دو رابطه فوق شتاب تئوری ماشین آتوود بدست می آید:

$$(m_2 - m_1)g = (m_1 + m_2)a \Rightarrow a = \frac{(m_2 - m_1)g}{m_1 + m_2} \qquad (2-1)$$

در عمل نیروی اصطکاک با اضافه کردن زاویه ای مناسب (m_f) به یکی از دو کفه ها بطوری که سیستم دارای حرکت یکنواختی گردد. بدست می آید و خواهیم داشت:

$$2f = m_f = f$$

تمرین : با در نظر گرفتن اصطکاک بین نخ و قرقره ثابت کنید که شتاب حرکت تئوری را بدست آورید؟

۲- محاسبه شتاب ثقل در جهرم:

شتاب ناشی گرانش زمین طبق قانون گرانش عمومی از رابطه زیر بدست می آید:

$$F = G\frac{Mm'}{r^2}$$

از طرفی برای جسمی که سقوط آزاد می کند نیروی وارد بر آن برابر با نیروی وزن می باشد یعنی :

$$Mg = G\frac{Mm'}{r^2} \Rightarrow g = G\frac{M}{r^2}$$

ثابت گرانش: $G = 6.67\times10^{-11}\left(\frac{Nm^2}{kg^2}\right)$

جرم زمین: $M = 5.98\times10^{24}(kg)$

شعاع زمین : $R = 6370\ km$

ارتفاع جهرم از سطح دریا ۱۰۵۰ متر می باشد بنابراین جاذبه از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$g = G\frac{M}{(r+h)^2} : h = 1050(m) \Rightarrow g = ...$$

نکته : در سیستم M.K.S کار کنید.

روش انجام آزمایش ۲-۱ :

۱- دستگاه سقوط آزاد را نصب کرده و تایمر را روشن کنید و گلوله را روی مگنت قرار دهید.
۲- فاصله عمودی انتهای گلوله و صفحه را اندازه گیری کنید. (y)
۳- با زدن دکمه start گلوله رها شده و زمان سقوط را به طور اتوماتیک اندازه گیری می کند؛ این کار را سه بار تکرار کنید و جدول ۲-۱ را کامل کنید

۴- شتاب تجربی را از رابطه $g = \frac{2y}{t^2}$ و شتاب تئوری را با استفاده از رابطه بالا بدست آورید و مقایسه کنید و علت اختلاف را بیان کنید.

جدول ۲-۱ :

$y(m)$	$t(s)$	$\bar{t}(s)$			$\bar{g}$ تئوری	تجربی g

روش انجام آزمایش ۲-۲:

۱- دستگاه ماشین آتوود را تنظیم نموده و دو کفه را به کمک ریسمان به طرفین قرقره وصل کنید، این کفه ها نقش m_1 را بازی می کنند.

۲- سرباری به جرم 5(gr) بر روی یکی از کفه ها قرار دهید، چنانکه مشاهده می شود شتابدار بودن سیستم در این حالت مشهود می باشد. با قرار دادن سربار m بر روی کفه، مقدار شتاب را از رابطه (2-1) به ازاء سربارهای مختلف محاسبه کنید. $m_2 = m_1 + m$

۳- برای محاسبه شتاب تجربی، سیستم حالت قبل را بدون هیچ گونه تغییری به حرکت در آورید و زمان لازم برای پیمودن فاصله y بین دو نقطه را ۵ بار اندازه گیری کنید و جدول ۲-۲ را کامل کنید.

۴- با استفاده از رابطه $y = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t$ با توجه به اینکه وزنه به طور آزاد رها شده شتاب تجربی را از رابطه $a = \frac{2y}{t^2}$ محاسبه کنید و خطای مربوط به ان را بدست آورید.

۵- در رابطه با جرم سربار و دقت آزمایش با توجه به نتیجه آزمایش بحث کنید.

جدول ۲-۲ :

$m(gr)$	$y(cm)$	$t(s)$					$\bar{t}(s)$	$a = \frac{(m_2 - m_1)g}{m_1 + m_2}$
5								
10								
15								
20								
25								

آزمایش ۳

حرکت پرتابی

هدف آزمایش:

بررسی حرکت پرتابی در امتداد افق

وسایل مورد نیاز :

سطح شیبدار ، گلوله شیشه ای و فلزی، سطح افقی چوبی ، خط کش، شاقول ، چند برگ کاغذ و کاربن، کرنومتر و گیره .

تئوری آزمایش:

اگر جسمی تحت زاویه θبا سرعت اولیه v_0به هوا پرتاب شود مسیری به صورت منحنی طی خواهد کرد. حرکت چنین جسمی را پرتابی می نامند . این حرکت از ترکیب دو حرکت افقی و عمودی ایجاد می شود.

بعد از پرتاب چون در راستای افق هیچ نیروی بر جسم وارد نمی شود، شتاب افقی برابر صفر است $(a_x = 0)$و طبق قانون اول نیوتن حرکت جسم در این راستا یکنواخت خواهد بود.

$$\chi = V_{0x} t \qquad (۱-۳)$$

v_{0x} مولفه سرعت اولیه روی محور X ها است $V_x = V_{0x} = V_0 COS\theta$

ولی در راستای قائم چون جسم دارای جرم m است جاذبه زمین بر آن اثر کرده و شتابی برابر g به آن می دهد (a=-g) ، بنابراین خواهیم داشت:

$$v_y = v_{0y} + a_y t \qquad ؛ \quad V_{0y} = V_0 \sin\theta$$

و بزرگی سرعت بر آیند به صورت زیر است :

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y{}^2}$$

و زاویه ای که این بردار در هر لحظه با محور افق می سازد :

$$\tan\theta = \frac{v_y}{v_x}$$

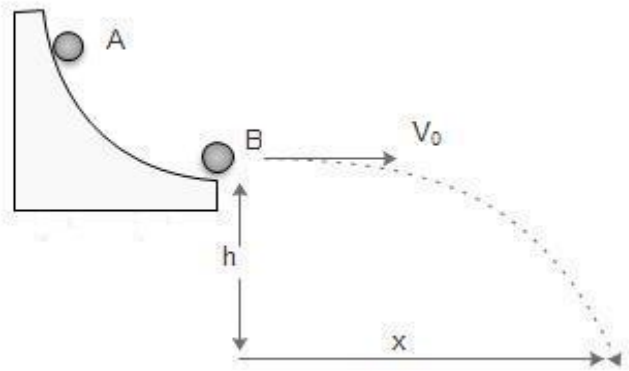
در راستای قائم معادله حرکت به صورت زیر می باشد:

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 + v_{0y}t + y_0 \qquad (۲-۳)$$

با حذف t از رابطه های(۰۳-۱) و (۳-۲) معادله کلی حرکت پرتابی در صفحه بدست می آید که نشان می دهد مسیر حرکت پرتابی سهمی شکل است.

$$y = X\tan\theta - \frac{gx^2}{2v_0{}^2\cos^2\theta} \qquad (۳-۳\ )$$

اگر پرتابه در امتداد افق با سرعت اولیه v_0 پرتاب شود ($\theta = 0$) در نتیجه معادله حرکت و مسیر به صورت زیر است:



$$X = V_0 t, h = -\frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow h = \frac{-gX^2}{2V_0{}^2}$$

علامت منفی به این خاطر است که جهت مثبت g به طرف بالا فرض شده است؛ اگر جهت مثبت را به سمت پایین اختیار کنیم علامت منفی برداشته می شود:

$$h = \frac{gx^2}{2V_0{}^2} \qquad (۴-۳)$$

بیشترین مسافتی را که جسم پرتاب شده روی محور x ها طی می کند را برد پرتابه می نامند؛ اگر x فاصله تصویر نقطه پرتاب روی سطح تا محل برخورد گلوله باشد از(۳-۴) خواهیم داشت:

$$x = V_0\sqrt{\frac{2h}{g}} \qquad (۵-۳)$$

روش انجام آزمایش :

الف : محاسبه سرعت گلوله های فلزی و شیشه ای در لحظه پرتاب

۱- سطح افقی چوبی را چنان روی میز قرار دهید که با انتهای سطح شیبدار کاملا در یک سطح قرار گیرد و آن را تراز کنید.
۲- حداکثر فاصله ممکن روی سطح چوبی را اختیار و اندازه گیری کنید.
۳- گلوله را از نقطه ای مشخص از بالای سطح شیبدار رها کنید، هنگام رسیدن گلوله به انتهای سطح شیبدار کرنومتر را به کار انداخته و هنگام رسیدن گلوله به انتهای سطح افق کرنومتر را قطع کنید و زمان را اندازه گیری کنید. این عمل را سه بار تکرار کنید.
۴- با استفاده از رابطه x=vt سرعت گلوله را در انتهای سطح شیبدار محاسبه کنید و این عمل را برای گلوله شیشه ای نیز انجام دهید و جدول ۳-۱ را کامل کنید.

جدول ۳-۱:

	$x\,(cm)$	$t\,(s)$			$\bar{t}(s)$	$\bar{V}\,(cm/s)$
گلوله فلزی						
گلوله شیشه ای						

ب: محاسبه بردگلوله شیشه ای و فلزی

۱- سطح شیبدار را به انتهای میز وصل کنید.
۲- بوسیله شاقول تصویر عمودی انتهای سطح شیبدار را بر روی زمین مشخص کنید.
۳- فاصله عمودی انتهای سطح شیبدار را از زمین با متر اندازه گیری نمایید. (H)
۴- محل تقریبی سقوط گلوله را بیابید و یک صفحع کاغذی و کاربن روی آن محل قرار دهید.
۵- گلوله را ا ز بالای سطح شیبدار از همان نقطه مشخص شده در قسمت قبل رها کنید و پس از ثبت اثر گلوله روی کاغذ فاصله افقی آن را تا تصویر عمودی انتهای سطح شیبدار اندازه گیری کنید. (x)
۶- این آزمایش را ۵ بار تکرار و جدول ۳-۲ را کامل کنید.
۷- نتیجه این قسمت را با نتیجه حاصل از تئوری که از رابطه (۳-۵) بدست آوردید مقایسه و علت اختلاف را بیان کنید.
۸- این کار برای گلوله شیشه ای نیز انجام دهید و در نهایت علت اختلاف برد گلوله شیشه ای و فلزی را بنویسید.

جدول ۳-۲ :

	$x(cm)$ تجربی					$\bar{x}(cm)$ تجربی	x تئوری
گلوله فلزی							
گلوله شیشه ای							

آزمایش ۴

نیروی اصطکاک

هدف آزمایش :

مطالعه قوانین اصطکاک و اندازه گیری ضریب اصطکاک بین سطوح مختلف.

وسایل مورد نیاز :

سطح شیبدار چوبی و شیشه ای، وزنه های مختلف، مکعب چوبی ف کفه ، نقاله ، ترازو.

تئوری آزمایش :

نیروی اصطکاک (f) نیروی است که در سطح تماس دو جسم به وجود می آید و باعث کندی حرکت نسبی آنها می شود، این نیرو در امتداد سطوح تماس به اجسام وارد می شود و در خلاف جهت سرعت نسبی حرکت انهاست. وقتی سطوح نسبت به هم ساکن باشند اصطکاک ایستایی و وقتی سطوح در حرکت نسبی باشند از اصطکاک لغزشی یا جنبشی گفتگو می کنیم. وقتی یک جسم در امتداد سطح جسم دیگری بدون لغزش بغلتد از اصطکاک غلتشی صحبت به میان می آید.

تجربه نشان می دهد که ضریب اصطکاک به عوامل زیادی از جمله ماهیت موارد، درجه صیقلی بودن سطح، دما و میزان آلودگی سطح بستگی دارد اما تاکنون نظریه دقیقی راجع به اصطکاک بیان نشده قوانین اصطکاک تجربی می باشند .

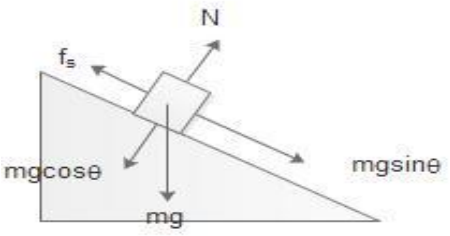
۱- نیروی اصطکاک ایستایی میان سطوح اجسام در حال سکون وجود دارد و ماکزیمم آن حداقل نیروی لازم می باشد تا جسم را در آستانه حرکت قرار دهد. بنا به تعریف:

$$f_{s\max} = \mu_x N \rightarrow \mu_S = \frac{f_{s\max}}{N} \qquad (۱-۴)$$

۲- نیروی اصطکاک جنبشی که میان سطوح اجسام در حال حرکت نسبی وجود دارد وبنا به تعریف

$$f_k = \mu_k N \rightarrow \mu_K = \frac{f_k}{N} \qquad (۲-۴)$$

۳- چنانچه جسم روی سطح شیبداری در آستانه حرکت قرار بگیرد اگر محور χ ها را در جهت سطح شیبدار و محور y ها عمود بر سطح اندازه بگیریم با توجه به شکل ۴-۱ خواهیم داشت:



$$mg\sin\theta - f_s = 0$$
$$mg\sin\theta = f_x = \mu_s N = \mu_S mg\cos\theta$$
$$\rightarrow \mu_s = \frac{mg\sin\theta_s}{mg\cos\theta_{s\ s}} = \tan\theta_s$$

(۳-۴)

و به همین ترتیب در حالی که جسم حرکت یکنواخت دارد :

(a=0)

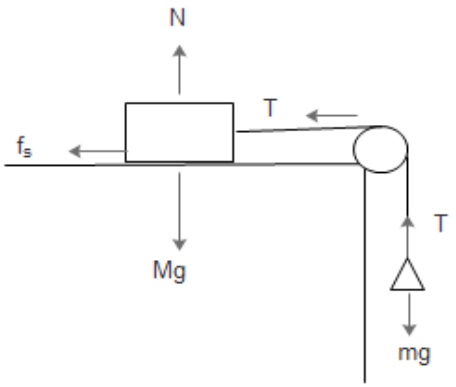
$$\mu_k = \frac{mg\ \sin\theta_k}{mg\ \cos\theta_k} = \tan\theta_k \qquad (۴\text{-}۴)$$

۴- در صورتی که جسم روی سطح شیبدار توسط نیروی F (وزن کفه + وزن درون آن) با سرعت یکنواخت به سمت بالا حرکت کند با توجه به شکل ۴-۲ و قانون دوم نیوتن خواهیم داشت:

$$F - mg = 0 \rightarrow F = mg$$
$$F - Mg\ \sin\theta - F_K = 0$$
$$\rightarrow mg - Mg\ \sin\theta - \mu_k Mg\ \cos\theta = 0 \qquad (۲\text{-}۴)$$
$$\rightarrow \mu_k = \frac{m - M\ \sin\theta}{M\ \cos\theta}$$

محاسبه نیروی اصطکاک بر روی سطح افق:

مجموعه a شامل مکعب چوبی و وزنه مجموعاش به جرم M و مجموعه b شامل کفه ها و گلوله ها مجموعا به جرم m می باشند، با فرض اینکه سیستم در آستانه حرکت قرار داشته باشد داریم:



$$\sum F = Ma$$

در آستانه حرکت $\sum F = 0 \rightarrow mg - T = 0 \rightarrow T = mg$

$$T - f_s = 0 \rightarrow T = f_s$$

$$\Rightarrow mg = f_s = \mu_s Mg \rightarrow \mu_s = \frac{m}{M}$$

در صورتی که در حین اضافه کردن گلوله ها ضربه ای به مکعب وارد کنیم تا با سرعت ثابتی شروع به حرکت کند دراین صورت :

$$\mu_k = \frac{m}{M} \qquad (۷-۴)$$

بنابراین μ می تواند شیب نمودار m برحسب M باشد.

روش انجام آزمایش ۴-۱:

الف: محاسبه ضریب اصطکاک ایستایی :

۱- سیستمی مانند شکل بالا تشکیل دهید. وزن M مکعب وزنه را با ترازو اندازه گیری کنید.
۲- آنقدر گلوله داخل کفه قرار دهید تا مکعب با سرعت ثابتی شروع به حرکت کند، در این حالت گلوله ها و کفه را وزن کنید. (m)
۳- این عمل را به ازا وزنه های مختلف انجام دهید و جدول ۴-۱ را کامل کنید.
۴- نمودار m را بر حسب M روی کاغذ میلیمتری رسم کنید و شیب نمودار را مساوی μ_S قرار دهید.

$$S = \mu_S = \frac{m}{M}$$

$$\mu_S = S = \frac{m_B - m_A}{M_B - M_A} \qquad (۸-۴)$$

۵- خطای نسبی در اندازه گیری μ_1 را بدست آورید. (از رابطه (۴-۸) استفاده کنید.)

جدول ۴-۱:

$M(gr)$	$m(gr)$

ب: محاسبه ضریب اصطکاک جنبشی

۱- مراحل فوق را عیناً تکرار کنید با این تفاوت که هر بار که گلوله ای به کفه اضافه می کنید ضربه ای به سطح وارد کنید تا ضریب اصطکاک ایستایی خنثی شود، در این حالت با رسم نمودار m بر حسب M ضریب اصطکاک جنبشی بدست می آید.
۲- جدولی مانند جدول فوق رسم کنید و تمامی مراحل آزمایش را عیناً انجام دهید. μ_k و خطای μ_k را بدست آورید.
۳- علت اختلاف ضریب اصطکاک ایستایی و جنبشی را بیان کنید.

روش انجام آزمایش ۴-۲:

الف: محاسبه ضریب اصطکاک ایستایی با استفاده از سطح شیبدار

۱- سیستمی مانند شکل ۴-۱ تشکیل دهید.
۲- مکعب را به تنهایی بالای سطح قرار دهید و زاویه سطح را به آرامی زیاد کنید تا مکعب در آستانه حرکت قرار گیرد. این آزمایش را سه بار انجام دهید و جدول ۴-۳ را کامل کنید.
۳- با استفاده از رابطه (۴-۳) μ_s را بدست آورید و با مقداری که از حالت الف روی سطح افقی بدست آوردید مقایسه کنید.

جدول شماره ۴-۲ :

θ_1	θ_2	θ_3	$\overline{\theta}$	$\overline{\mu}_s$

ب: محاسبه ضریب اصطکاک جنبشی

آزمایش فوق را دوباره تکرار کنید با این تفاوت که هر بار که زاویه را زیاد می کنید ضربه ای به سطح وارد کنید تا مکعب به آرامی شروع به پایین آمدن کند، در این حالت ضریب اصطکاک جنبشی بدست می آید.

آزمایش ۵

قانون هوک

هدف آزمایش :

تحقیق قانون هوک و محاسبه ثابت فنر (ضریب سختی فنر)

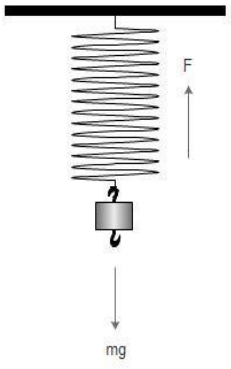
وسایل مورد نیاز:

فنر، پایه و گیره، خط کش، وزنه های مختلف، کرنومتر و ترازو.

آزمایش ۵-۱:

تئوری آزمایش :

اگر انتهای فنری که به صورت قائم آویزان است وزنه ای آویخته شود نیرویی به فنر وارد می شود که باعث افزایش طول فنر می شود. میزان افزایش طول فنر نیز طبق قانون هوک متناسب با نیرویی است که به آن وارد می شود یعنی :



$$F = -kx \qquad (۱-۵)$$

در این رابطه F نیروی وارده، k ضریب ثابت فنر با واحد $\left(N/m\right)$ یا $\left(dyne/mc\right)$ ، $\left(1(N)=10^5(dyne)\right)$ و x میزان افزایش طول فنر می باشد.

اگر نیروی وارده بر فنر وزنه ای به جرم m باشد و فنر در حالت تعادل باشد با توجه به اینکه برآیند نیروها در نقطه تعادل صفر است داریم:

$$\sum F = 0 \rightarrow kx + mg = 0$$

$$m = \frac{k}{g}x \quad \text{یا} \quad k = \frac{m}{x}g$$

با توجه به رابطه فوق اگر منحنی تغییرات m را بر حسب x رسم کنیم خطی بدست می آید که شیب آن $\frac{k}{g}$ می باشد.

$$S = \frac{m_2 - m_1}{x_2 - x_1}$$

روش انجام آزمایش:

۱- طول اولیه فنر را اندازه گیری می کنیم.

۲- وزنه های مشخص شده را به انتهای فنر وصل کرده و میزان تفزایش طول فنر را به ازای وزنه های مختلف اندازه گیری کرده و جدول ۵-۱ را کامل می کنیم.

۳- نمودار m را برحسب X روی کاغذ میلی متری رسم کرده و شیب نمودار (S)را بدست می آوریم.

۴- با ضرب کردن شیب نمودار در مقدار $g = 980\left(cm/s\right)$ ثابت فنر را بدست می آوریم.

جدول ۵-۱:

$m(gr)$	$X_1(CM)$	$X_2(cM)$	$X = X_2 - X_1$
50			
100			
150			
200			
250			

آزمایش ۵-۲:

هدف آزمایش :

تعیین ثابت فنر با استفاده از دوره تناوب فنر.

تئوری آزمایش :

اگر وزنه آویزان به انتهای فنری را از حالت تعادل خارج می کنیم در امتداد قائم شروع به نوسان حول نقطه تعادل خود می کند. اگر قانون دوم نیوتن را برای حرکت وزنه به کار بریم خواهیم داشت:

$$\sum F = ma$$

$$\rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (۲-۵) \quad \rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T} \; ; \; \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

اگر طرفین رابطه (۵-۲) را به توان ۲ برسانیم خواهیم داشت:

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{m}{k} \rightarrow \frac{m}{T^2} = \frac{k}{4\pi^2} \rightarrow k = 4\pi^2\left(\frac{m}{T^2}\right) \qquad (۳-۵)$$

با توجه به رابطه (۵-۴) اگر نمودار m را بر حسب T^2 رسم کنیم و شیب نمودار را در $4\pi^2$ ضرب کنیم K بدست می آید.

روش انجام آزمایش :

۱- هر یک از وزنه ها را به انتهای فنر آویخته و فنر را به صورت قائم با دامنه کمی پایین کشیده و رها می کنیم و زمان 50 نوسان کامل را با کرنومتر اندازه گیری می کنیم.
۲- دوره تناوب فنر را بدست آورده و جدول ۵-۲ را کامل می کنیم.
۳- نمودار m بر حسب T^2 را روی کاغذ میلی متری رسم کرده، شیب نمودار را بدست آورده و در $4\pi^2$ ضرب می کنیم تا k بدست آید.
۴- مقدار عددی را که برای ثابت فنر در این حالت بدست آوردید با حالت قبل مقایسه کنید و علت اختلاف را بیان کنید.

جدول ۵-۲

m (gr)	زمان ۵۰ نوسان t	$T = t/50$	T^2
100			
150			
200			
250			

آزمایش ۶

بررسی امواج در محیط های کشسان

هدف آزمایش : بررسی امواج ساکن و تحقیق قوانین ارتعاش و اندازه گیری سرعت انتشار موج، طول موج و فرکانس.

وسایل مورد نیاز:

منبع تغذیه متنواب ، ارتعاشگر، خط کش، ریسمان، انواع وزنه ها و ترازو.

تئوری آزمایش :

امواج مکانیکی از تغییر مکان قسمتی از یک محیط کشسان نسبت به وضعیت عادیش ناشی می شود که این امر موجب نوسان آن قسمت حول وضعیت تعادل می شود. به علت خاصیت کشسانی محیط این آشفتگی از لایه ای به لایه ای دیگر منتقل می شود در نتیجه آشفتگی یا موج در محیط پیش می رود. امواج مکانیکی را می توان با در نظر گرفتن چگونگی رابطه میان حرکت ذرات ماده با راستای انتشار خود موج رده بندی کرد.

۱- **امواج عرضی:**

در امواج عرضی امتداد ارتعاش بر راستای انتشار موج عمود است مثل امواج یک تار مرتعش و امواج رادیویی و . . .

۲-**امواج طولی**:

در این گونه موج ها راستای ارتعاش و راستای انتشار با هم موازیدند مانند امواج صوتی، به این گونه امواج « تراکمی» نیز گفته می شود.

- معادله موج: معادله یک موج سینوسی که به طرف راست پیش می رود چنین است:

$$y_1 = y_m \sin(kg - \omega t) \qquad (۱-۶)$$

و برای یک موج سینوسی که به طرف چپ پیش می رود:

$$y_2 = y_m \sin(kg + \omega t) \qquad (۲-۶)$$

K عدد موج و ω بسامد زوایه ای است که به صورت زیر تعریف می شود:

$$\omega = 2\pi\upsilon = \frac{2\pi}{T} \qquad \text{و} \qquad k = \frac{2\pi}{\lambda} \qquad (۳-۶)$$

- امواج ایستاده:

در یک جسم یک بعدی با اندازه محدود مثلا یک تار کشیده که با دو گیره محکم شده امواج پیشرونده از مرزهای جسم یعنی گیره ها بازتابیده می شوند، هر یک از این بازتابش ها موجب به وجود آمدن موجی در تار می شود که در سوی مخالف حرکت می کند. این امواج بازتابیده مطابق اصل بر هم نهی (جابه جایی هر ذره در یک لحظه معین با مجموع جابجایی هایی که هر یک از موج ها به تنهایی به ذره می دهد برابر است) با امواج تابش جمع می شوند. برآیند دو قطار موج (روابط (۱-۶) و ۰۶-۲)) که با بسامد، سرعت و دامنه یکسان در طول یک تار در جهت مخالف پیش می روند به صورت زیر است:

$$y = 2y \sin kx \cos \omega t \qquad (۴-۶)$$

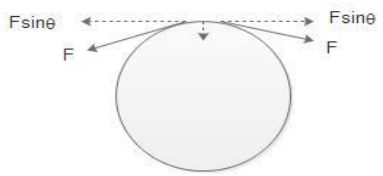
در امواج ایستاده دامنه ارتعاش برای ذرات مختلف یکسان نیست بلکه با مکان " x " تغییر می کند در نقاطی که : $x = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \cdots$ یا $\left(k = \frac{2\pi}{\lambda}\right) kx = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \ldots$

مقدار ماکزیمم دامنه $2y_m$ است و این نقاط را شکم می نامند و به اندازه $\frac{\lambda}{2}$، نصف طول موج، از هم فاصله دارند.

و در نقاطی که : $x = \frac{\lambda}{2}, \lambda, \frac{3\lambda}{4}, \ldots$ یا $kx = \pi, 2\pi, \ldots$ باشد دامنه مینیمم است و گره نامیده می شوند. فاصله هر گره از هم $\frac{\lambda}{2}$ می باشد.

سرعت موج:

سرعت موج در یک محیط به کشسانی محیط بستگی دارد. در یک تار مرتعش کشسانی توسط نیروی کشش F در ریسمان تعیین می شود. شکل ۶-۱ تپی را نشان می دهد در یک طول تار با سرعت v پیش می رود بخش کوچکی به طول Δlاز تپ را در نظر می گیریم که مطابق شکل بخشی از یک کمان به شعاع R است. اگر μ جرم واحد طول ریسمان باشد در این صورت جرم این جز از ریسمان $\mu\Delta l$ خواهد بود. نیروی کشش F در ریسمان یک نیروی مماسی است که بر دو سر جز کوچک ریسمان وارد می شود. مولفه های افقی دو ریسمان یکدیگر را خنثی می کنند و با مجموع نیروهای عمودی برابر با $2F\sin\theta$ می باشد. بنابراین نیروی کل قائم برابر با $2F\sin\theta$ با فرض اینکه θ کوچک باشد به صورت زیر بیان می شود:



$if \quad \theta \quad$ کوچک $\Rightarrow \quad \sin\theta = \theta$

$$\Rightarrow 2F\sin\theta = 2F\theta = 2F\left(\frac{\Delta l/2}{R}\right) = \frac{F\Delta l}{R}$$

اگر μ جرم واحد طول باشد و l طول تار باشد، جرم کل تار برابر با $M = \mu\Delta L$ می باشد . اگر m جرم جز از طول تار به طول Δl باشد در این صورت $M = \mu\Delta L$ ، از طرفی می دانیم که نیروی مرکز گرای موثر بر جرم، $\mu\Delta l$، که در روی دایره ای به شعاع R و با سرعت v حرکت می کند برابر است با:

$$\frac{mv^2}{R} = \frac{\mu\Delta l v^2}{R}$$

$$F_1 = \frac{mv^2}{R} = \frac{\mu\Delta l v^2}{R}$$

$$\Rightarrow F_1 = F_2$$

$$F_2 = 2F\sin\theta = 2F\theta = \frac{2F\left(\Delta l/2\right)}{R} = \frac{\Delta L F}{R}$$

$$\rightarrow \frac{\mu\Delta l v^2}{R} = \frac{F\Delta l}{R} \Rightarrow v^2 = \frac{F}{\mu} \rightarrow v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

همان گونه که مشاهده می شود سرعت موج مستقل از شکل آن است.

چنانچه امواج ساکن ایجاد شده در تاری به طول l که هر دو انتهایش ثابت شده است را در نظر بگیریم طول تار مضرب صحیحی از نصف طول موج است:

$$l = k\frac{\lambda}{2}, k = 1,2,3,k \qquad (k \text{ مصرف تعداد شکم هاست}) \qquad (۶-۶)$$

از طرفی می دانیم که $\lambda = \frac{v}{\upsilon}$ که υ فرکانس تار می باشد. بنابراین $\upsilon = \frac{v}{\lambda}$ از رابطه $\lambda = \frac{21}{k}$ بدست می آید بنابراین:

$$\upsilon = \frac{k}{2l}\sqrt{\frac{F}{\mu}} \qquad (۶-۷)$$

روش انجام آزمایش :

۱- ارتعاشگر را به منبع تغذیه متناوب با ولتاژی حدود ۸-۶ ولت وصل کنید.

۲-ریسمانی به طول یک متر را انتخاب کرده و جرم واحد طول آن را بدست آورید. (μ)

۳- یک سر ریسمان را به ارتعاشگر و سر دیگر آن را به وزنه های انتخاب شده وصل کنید و تعداد شکم ها را در هر حالت اندازه گرفته و جدول ۶-۱ را کامل کنید.

۴- فاصله دو گره متوالی را روی خط کش اندازه گیری کنید و مساوی $\frac{\lambda}{2}$ قرار دهید و طول موج تجربی را بدست آورید.

۵- طول موج تئوری را از رابطه $\lambda = \frac{21}{k}$ بدست آورید و جدول ۶-۱ را کامل کنید.

۶- در مقادیر بدست آمده در جدول ارتباط بین سرعت و فرکانس با طول تار و نیروی کشش تار را بحث کنید.

جدول ۶-۱:

	$\bar{m}$ (gr)	F (N)	$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}\left(m/s\right)$	تعداد K شکمها	$\upsilon = \frac{k}{2l}\sqrt{\frac{F}{\mu}}$	λ تجربی	λ تئوری
۱							
۲							
۳							
۴							
۵							
۶							

پرسش ها:

۱- آیا فرکانس ارتعاش تار مرتعش با فرکانس تغییرات زمانی جریان متناوب یکی است؟ چرا؟

۲- آیا امواج اندازه حرکت را نیز متنقل می کنند؟

آزمایش ۷

بررسی قانون ژول

هدف آزمایش :

تحقیق قانون ژول و محاسبه ثابت گرمایی (j) ، ضریب ژول یا معادل مکانیکی گرما.

وسایل مورد نیاز :

کالریمتر ، دماسنج مدرج منبع ، تغدیه ، کرنومتر ، آوومتر .

تِئوری آزمایش :

کار وگرما دو شکل مختلف انرژی اند ؛ گرما شکلی از انرژی است پس هر یکای انرژی می تواند یکای گرما نیز باشد. اولین بار ژول معادل مکانیکی انرژی گرمایی ، یعنی تعداد ژول های هم ارز با یک کالری را یه دقت اندازه گیری کرد و نتیجه آزمایش خود را چنین بیان کرد:

"نسبت کار مکانیکی و حرارت تولید شده مقداریست ثابت "

بعداً این نسبت یا مقدار ثابت را معادل مکانیکی حرارت یا ثابت ژول نامیدند که با فرمول زیر خلاصه می شود:

$$j = \frac{W}{Q}$$

دستگاه این آزمایش از یک کالریمتر تشکیل شده است. کالریمتر ظرفی است که توسط آن می توان مقدار معینی انرژی الکتریکی را به گرما تبدیل کرد. مقاومتی که در این ظرف قرار دارد در اثر عبور جریان برق گرم شده و حرارت خود را به آب و دیگر اجزای کالریمتر می دهد.

بنابراین مقدار انرژی گرمایی که ما به این سیستم می دهیم در صورتی که جریان I در مدت زمان t از مقاومتی عبور کند و اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت V باشد داریم :

$$W = V . I . t$$

ولت: v آمپر: I ثانیه: t

و مقدار گرمای تولید شده صرف گرم کردن اب و اجزای کالریمتر می شود پس :

گرما $Q = m_w C_w (T_2-T_1) + m_{A\,l} C_{Al} (T_2-T_1)$

حاصلضرب جرم کالریمتر در ظرفیت گرمایی ویژه کالریمتر را ارزش آبی کالریمتر می نامند.

در صورتی که کالریمتر دارای قسمت های مختلفی باشد داریم :

$$A = \sum_i m_i c_i$$

A ارزش آبی کالریمتر است و واحد آن در دستگاه C.G.S برابر با $cal/{}^\circ C$ و در سیستم SI برابر با $j/{}^\circ C$ می باشد.

A ارزش آبی کالریمتر برای ظرف مورد استفاده در آزمایشگاه که از جنس آلومینیم است برابر است با :

$A = m_{Al} C_{Al}$

$m_{Al} = 50(gr)$. $C_{Al} = 0.2\ (cal/gr\,{}^\circ C)$ $\Rightarrow$ $A=10\ cal/{}^\circ C$

بنابراین در مورد گرمای تولید شده می توان نوشت :

$$Q=(m_w C_w + A)(T_2-T_1)$$

در نهایت ثابت ژول را می توان از رابطه زیر محاسبه کرد :

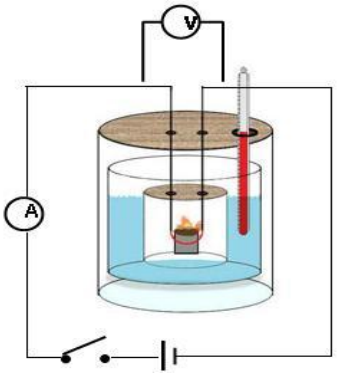
$$j = \frac{w}{Q} \quad , j = \frac{vit}{(mwCw + A)(T2-T1)} \qquad (1\text{-}7)$$

مقدار ثابت ژول که به طور دقیق محاسبه شده است برابر با 4.186 می باشد

روش انجام آزمایش :

۱- کالریمتر را کاملاً خشک کرده و مقدار ۱۵۰ gr آب که معادل با ۱۵۰ cc می باشد را با استوانه مدرج درون کالریمتر بریزید .

۲- مداری مطابق شکل مقابل تشکیل دهید .



۳- دماسنج را داخل کالریمتر قرار داده و پس از چند دقیقه که تعادل گرمایی حاصل شد دمای اولیه آب (T_1) را بخوانید و یادداشت کنید.

۴- ولتاژ منبع تغذیه را بین ۶ تا ۸ ولت تنظیم کرده و به محض روشن کردن دستگاه کرنومتر را بکار اندازید و هنگامی که اختلاف زمانی بین ۱۰ تا ۱۵ درجه حاصل شد کلید مدار را قطع و کرنومتر را خاموش کنید ، آب را با هم زدن یکنواخت کرده و بلافاصله دمای نهایی آن را یادداشت کنید (T_2)

۵- با توجه به رابطه (۷-۱) و مقادیر ولتاژ و جریان که با آوومتر اندازه گیری کرده اید ثابت ژول را بدست آورید و مقدار Δj و$\frac{\Delta j}{j}$ را محاسبه کنید.

۶- با توجه به مقدار دقیق درصد مقدار خطا را در این آزمایش محاسبه کنید .

آزمایش ۸

تحقیق قاتون بویل ماریوت

هدف آزمایش :

تحقیق قانون بویل ماریوت و محاسبه فشار هوای جو.

وسایل مورد نیاز :

دستگاه بویل ماریوت

تئوری آزمایش :

بویل و ماریوت در سال ۱۶۷۶-۱۶۶۲ میلادی هر یک بدون اطلاع دیگری به این نتیجه رسیدند که برای مقداری گاز محبوس در یک ظرف موقعی که دمایش ثابت باشد ، حاصلضرب فشار در حجم این گاز مقداری است ثابت . موقعی که فشار گاز P_1 و حجم آن V_1 باشد و بدون تغییر دما فشار و حجمش به P_2 وV_2 برسد خواهیم داشت :

$$P_1V_1 = P_2V_2 = Cte$$ مقدار ثابت

مقدار ثابت و فقط تابع دما می باشد. در صورتی که مقدار گاز تغییر یابد مقدار ثابت نیز تغییر می یابد.

شرح آزمایش:

دستگاه بویل ماریوت از دو لوله شیشه ای تشکیل شده است که توسط یک لوله لاستیکی به هم مربوطند.

در قسمت بالای لوله سمت راست شیری وجود دارد که با بستن شیر مقداری هوا در لوله محبوس می شود . در شروع آزمایش باز و ارتفاع جیوه در دو لوله یکسان می باشد (h=0). شیر را می بندیم و ارتفاع ستون هوای محبوس را از محل شیر تا سطح جیوه در لوله سمت راست یادداشت می کنیم. این ارتفاع را با a نشان می دهیم. حجم هوای محبوس V=a.Sمی باشد. چون لوله ها مشابه اند با اندازه گیری قطر داخلی یکی از آنها می توان S را محاسبه کرد. با بالا و پایین بردن لوله ها نسبت به یکدیگر می توان اختلاف سطح جیوه را در هر حالت اندازه گیری کرد. فشار هوای محبوس از رابطه $p = p_0 \pm h$ بدست می آید . فشار

هوای آزمایشگاه می باشد و اگر لوله سمت چپ بالاتر باشد h مثبت و در صورتی که لوله سمت راست بالاتر باشد h منفی خواهد بود .

طبق قانون بویل ماریوت داریم :

$$Pv = cte$$

$$P = \frac{1}{v}\, cte$$

$$P_0 \pm h = \frac{1}{V} cte \rightarrow \pm h = \frac{1}{V} cte - P_0 \rightarrow$$

این رابطه شبیه به معادله یک خط راست با عرض از مبدأ آن $(-P_0)$ می باشد $(y=ax+b)$

بنابراین با رسم نمودار h بر حسب 1/V خطی بدست می آید که عرض از مبدا آن p_0 که همان فشار جو در محیط آزمایشگاه می باشد.

روش انجام آزمایش :

۱- ابتدا شیر R را باز کرده تا سطح جیوه در هر دو لوله یکسان شود ، سپس شیر را بسته و حجم هوای محبوس را اندازه گیری کنید و فشار آن را بدست آورید .

$$V = s \cdot H \; ; \quad S = \pi r^2 \; , \; r = 0.772(cm)$$

۲- با بالا و پایین بردن لوله B نسبت به A اختلاف ارتفاع سطح جیوه را در چهار مرحله بدست آورید و جدول ۸-۱ را کامل کنید .

۳- نمودار h را بر حسب 1/V روی کاغذ میلیمتری رسم کنید و فشار جو را بدست آورید .

جدول ۸-۱ :

	h(cm)	H(cm)	$V=s \cdot H\ (cm^3)$	$1/v$	$P=P_0 \pm h$	PV
۱						
۲						
۳						
۴						
۵						
۶						

h: اختلاف ارتفاع دو سطح جیوه در دو لوله

H: ارتفاع هوای محبوس در لوله سمت راست

آزمایش ۹

تعیین ضرایب انبساط طولی فلزات

هدف آزمایش :

بررسی پدیده انبساط طولی و تعیین ضرایب انبساط طولی فلزات .

وسایل مورد نیاز :

میله فلزی ، دماسنج ، ریز سنج ، محفظه شیشه ای .

تئوری آزمایش :

یکی از انواع مختلف انرژی ، انرژی حرارتی است که اگر به اجسام داده شود مشروط بر اینکه فشار خارجی ثابت باشد باعث تغییر شکل و انبساط آنها می شود. با افزایش دما انرژی جنبشی مولکول ها افزایش می یابد و مولکول هایی که در اثر افزایش دما انرژی جنبشی بیشتری کسب کرده اند با سرعت بیشتری به حرکت درآمده و همزمان در برخورد با مولکول های مجاور تبادل انرژی نیز می کنند . با ادامه این فعل و انفعال فاصله متوسط مولکولی بیشتر شده در نتیجه سبب افزایش حجمی یا سطحی یا طولی اجسام می شود. انبساط اجسام در اثر ازدیاد دما در گازها بیشتر از مایعات و در مایعات بیشتر از جامدات است . تغییر هر بعد خطی جسم مانند طول ، عرض ، ضخامت را انبساط طولی می نامند .

اگر طول این بعد خطی L باشد تغییر طول ناشی از تغییر دمای ΔT برابر با ΔL خواهد بود به طور تجربی معلوم شده که اگر ΔT به قدر کافی کوچک باشد ، تغییر طول ΔL با تغییر دمای ΔT و طول اولیه L متناسب است :

$$\Delta L = \lambda L_0 \Delta T \Rightarrow \lambda = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T}$$

λ ضریب انبساط خطی نام دارد و واحد آن ($\frac{1}{^\circ c}$) می باشد و برای مواد مختلف دارای مقادیر مختلف می باشد. طبق تعریف (ضریب انبساط طولی) عبارت است از تغییر نسبی طول به ازا یک درجه تغییر دما .

روش انجام آزمایش :

دستگاه از یک محفظه شیشه ای تشکیل شده که لوله مورد نظر در آن قرار می گیرد و دو ورودی بخار آب و یک دماسنج که در وسط دستگاه تعبیه شده که دمای میله را به ما نشان می دهد و یک

ریز سنج که در انتهای دستگاه روی پایه نصب شده است و تغییر طول میله را با دقت میلیمتر اندازه گیری می کند.

۱- دمای اولیه میله را از طریق ترمومتر یاداشت کنیدT_1

۲- به وسیله پیچ تنظیم ریز سنج عقربه را روی صفر قرار دهید و دیگر به دستگاه دست نزنید .

۳- بخار آب جوش را به وسیله لوله لاستیکی به محفظه شیشه ای وارد کنید و مدت زمان نسبتاً طولانی (حدود ۱۵ دقیقه) صبر کنید تا بخار آب وارد دستگاه شود و عقربه ریزسنج حرکت محسوسی نداشته باشد. در این حالت دمای ترمومتر را خوانده و یادداشت کنید . (T_2)

۴- تغییر طول میله را به وسیله ریزسنج خوانده و یادداشت کنید . (ΔL)

با داشتن طول اولیه و (ΔL)و (ΔT)ضریب انبساط طولی فلز را بدست آورید و خطای مطلق و نسبی را در این اندازه گیری بدست آورید.

آزمایش۱۰:

میز نیرو

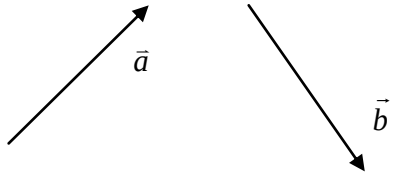
هدف آزمایش : تعیین برآیند نیروها و بررسی تعادل نیروها در حالت های مختلف

وسایل آزمایش : میز مدرج و ستون مربوطه ، ۴ عدد کفه وزنه آلومینیومی بزرگ و قلاب با نخ ۳۵ سانتی ، ۴ عدد قرقره و پایه ی مربوطه ، پایه وزنه ، وزنه های ۵۰ گرم ۴ عدد ، ۲۰ گرم ۳ عدد ، ۱۰ گرم ۲ عدد ، ۵ گرم ۲ عدد ، سه پایه ی رومیزی بزرگ قابل تنظیم ، حلقه ی نیرو .

تئوری آزمایش

تعدادی از کمیت های فیزیکی فقط با یک عدد (مقدار) کاملاً مشخص می گردند در حالی که تعداد دیگری از کمیت ها برای معرفی شدن علاوه بر مقدار باید جهتشان نیز مشخص گردد .

کمیت های دسته اول را کمیت های اسکالر (یا عددی) و دسته دوم را کمیت های برداری می گوییم. از جمله کمیت های اسکالر می توان جرم ، زمان ، کار وانرژی را نام برد و کمیت های برداری از قبیل سرعت ، شتاب و نیرو می باشند. مقدار کمیت های اسکالر با اعداد جبری مشخص می گردند و جمع و تفریق و ضرب و تقسیم آنها تابع قوانین اعمال جبری می باشند یعنی مانند اعداد جبری با یکدیگر جمع و تفریق و ضرب و تقسیم می شوند و اما این اعمال برای کمیت های برداری به صورت دیگری تعریف شده است و به نحو دیگری انجام می گردد . کمیت های برداری را با بردار که یک پاره خط جهت دار می باشد و دارای مقدار ، جهت و امتداد است نشان می دهند و به گونه ای که در ادامه می آید ، جمع و تفریق و ضرب این کمیت ها تعریف شده است .



تعریف بردار :

بردار یک پاره خط جهت دار است که طول آن متناسب با مقدار آن می باشد و به شکل یک پیکان نمایش داده می شود .

ضرب یک عدد (اسکالر) در یک بردار :

این حاصل ضرب برابر است با برداری در امتداد بردار و به طول و اگر مثبت باشد بردار حاصل هم جهت با است .

جمع بردارها :

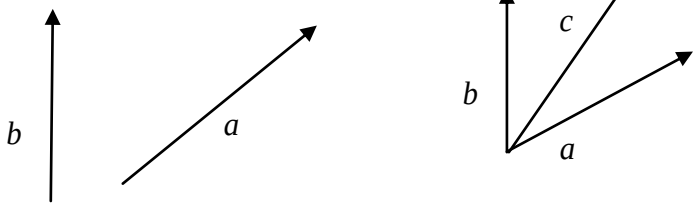
برای جمع کردن کمیت های برداری روش های خاصی وجود دارد که در ذیل به آنها اشاره می شود

الف- متوازی الاضلاع

در این روش از یک نقطه دلخواه همسنگ بردارهایی که می خواهیم با هم جمع کنیم ، رسم می کنیم قطر متوازی الاضلاع که از این دو بردار تشکیل می گردد حاصل جمع این دو بردار است .

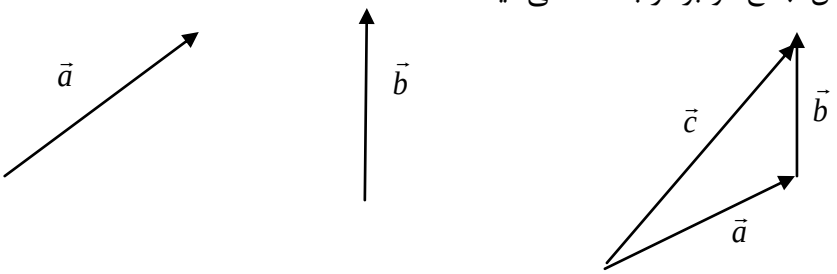
$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$$

$$|\vec{c}|^2 = |\vec{c}|^2 + |\vec{b}|^2 + 2|\vec{c}||\vec{b}|\cos a$$



ب- روش مثلث یا چند ضلعی :

در این روش از یک نقطه دلخواه برداری همسنگ یکی از بردارها رسم می کنیم و سپس از انتهای آن برداری همسنگ بردار دوم رسم می کنیم. اگر ابتدای بردار اول را به انتهای بردار دوم وصل کنیم حاصل جمع دو بردار بدست می آید .



$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$$

اگر جمع تعداد زیادی بردار را بخواهیم به این روش انجام دهیم کافی است از انتهای هر بردار، برداری همسنگ یکی از بردارها رسم کنیم و سپس از ابتدای بردار اول به انتهای بردار آخر وصل کنیم این بردار جمع کل بردارهای قبلی خواهد بود .

ج- روش تجزیه :

در این روش ابتدا کلیه بردارها را در یک دستگاه مختصات رسم می کنیم و سپس تک تک آنها را به روی محورها تجزیه می کنیم، بعد از آن همنه های افقی را جمع جبری می کنیم و همنه های قائم را نیز با هم جمع جبری می کنیم و حاصل این دو همنه را به عنوان برآیند مؤلفه های افقی و قائم در نظر گرفته، قطر مستطیل حاصل از آنها جمع کل بردارها می باشد .

$$F_x = F\cos\theta \qquad F = \sqrt{F_{2x} + F_y^2}$$

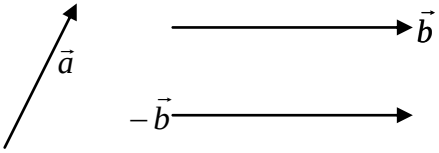
$$F_y = Fsis\theta \qquad \tan\theta = \sqrt{\frac{F_y}{F_x}}$$

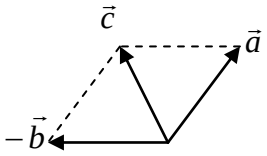
زاویه ای که برآیند دو بردار با محور می سازد، بر حسب همنه های افقی و قائم آن دو بردار، از رابطه زیر بدست می آید .

$$\tan\theta = \frac{F_1\sin\theta_1 + F_2\sin\theta_2}{F_1\cos\theta_1 + F_2\cos\theta_2}$$

$$\left|\vec{F}\right|^2 = \left|\vec{F}_1\right|^2 + \left|\vec{F}_2\right|^2 + 2\left|\vec{F}_1\right|\left|\vec{F}_2\right|\cos(\theta_1 - \theta_2)$$

تفریق بردارها : تفریق بردارها مانند جمع بردارها است با این تفاوت که ابتدا بردار دوم را در () ضرب می کنیم و سپس دو بردار را جمع می کنیم .

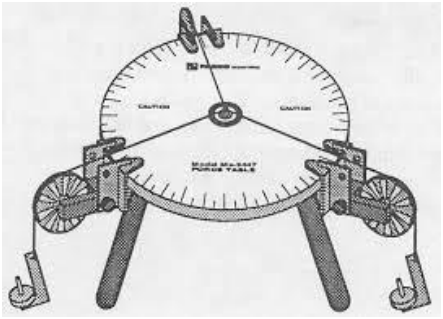




روش آزمایش

چنانچه دو یا چند نیرو در یک نقطه بر یک جسم اثر کنند می توان به جای آنها یک نیرو قرار داد که آن را برآیند آن نیروها می نامیم چنانچه نقطه مادی تحت اثر این چند نیرو در حال تعادل باشد، برآیند این نیروها صفر است.

لازم به یادآوری است که اولاً زاویه بین بردار ها از روی صفحه مدرج میز نیرو قابل تنظیم است و ثانیاً نیروهایی که توسط وزنه ها و قلاب ها بر نخ وارد می شوند بر حسب گر نیرو محاسبه می گردند.



به کمک گیره های موجود و مطابق جدول (۱) به سه نخ نیروهایی را تحت زوایای داده شده وارد سازید و با روش های جمع برداری برآیند این نیروها را محاسبه نمایید و سپس نیروی لازم برای برقراری تعادل را بطور عملی بدست آورید . طول و زاویه بردار چهارم را که از دو طریق محاسبه و عملی بدست آمده اند در جدول (۱) درج نمایید .

بردار برآیند		بردار C		بردار B		بردار A	
زاویه	طول	زاویه	طول	زاویه	طول	زاویه (درجه)	طول

توجه : طول بردار ها متناسب با مقدار آنها بر حسب گرم نیرو و زاویه بردارها بر حسب درجه می باشد.