بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی سجاد

دستورکار
آزمایشگاه فیزیک ۱

گردآوری:
مهندس سمانه امجدی
مهندس ناصررضا امجدی
دکتر ایمان احدی اخلاقی

مقدمه

درس آزمایشگاه فیزیک۱ برای بررسی و آزمایش برخی از مباحث، اصولی و قوانین پایه فیزیک طراحی شده است. هدف از انجام آزمایش‌ها، کمک به درک مفاهیم و مطالب درس فیزیک ۱ و تقویت شهود فیزیکی می‌باشد و تا حدودی زمینه لازم را برای انجام پژوهش‌ها و ارایه مطالب علمی فراهم می‌آورد. علاوه بر این، در این درس دانشجویان با اصول و نحوه کاربرد برخی از وسایل و تجهیزات آزمایشگاهی و نیز اصول و شیوه صحیح کار در آزمایشگاه آشنا خواهند شد.

فهرست مطالب

آشنایی با قوانین و اصول اولیه آزمایشگاه ۹
رسم نمودار و نمایش توابع ۱۱
رسم نمودار در اکسل ۱۳
بررسی خطاها ۲۱
آزمایش شماره ۱: وسایل اندازه‌گیری ۲۷
۱-۱-ورنیه ۲۸
۱-۲-کولیس ۲۸
۱-۳-ریزسنج ۳۰
۱-٤-تقعرسنج ۳۰
آزمایش شماره ۲ : تحقیق اصول دینامیک با استفاده از ماشین آتود ۳۳
آزمایش شماره ۳: اصطکاک در آستانه حرکت ۳۹
آزمایش شماره ٤: حرکت نوسانی فنر ٤۳
آزمایش شماره ٥: ضریب پیچشی فنر ٥۱
آزمایش شماره ٦: آونگ مرکب (آونگ کاتر) ٥٥
آزمایش شماره ۷: تعیین گرمای ویژه الکل به روش سرد کردن ٥۹
آزمایش شماره ۸: ضریب انبساط طولی فلزات ٦۳
آزمایش شماره ۹: ارزش آبی کالریمتر ٦٥
آزمایش شماره ۱۰: تعیین گرمای ویژه جسم ٦۹
مراجع ۷۱

✜ آشنایی با قوانین و اصول اولیه آزمایشگاه

کلیات

برای این‌که بتوانیم از کارهای آزمایشگاهی نتیجه مطلوب بدست‌آوریم، باید نکات زیر را مورد توجه قرار داد.

۱- **تسلط برموضوع:** قبل از حضور در آزمایشگاه باید دستور کار را به دقت خوانده و در صورت لزوم برای فهم بیشتر مطلب مورد آزمایش، از کتاب‌های مربوطه استفاده نمایید تا بتوانید تمام وقت خود را صرف آزمایش کنید.

۲- **مواظبت و نگهداری از وسایل:** وسایل آزمایشگاهی که در اختیارتان قرارمی‌گیرد گران‌بها هستند، خراب شدن یا فقدان آن‌ها صرف‌نظر از خسارت و بروز مشکل در تهیه‌ی آن، به پیشرفت کار شما و دوستانتان لطمه می‌زند. تجهیزاتی که با نحوه کار آن آشنا نیستید بدون اجازه و راهنمایی به‌کار نبرید. هنگام استفاده اگر مشکلی در آن مشاهده می‌کنید هیچ‌گاه زور و فشار روی قطعات آن وارد نسازید، بلکه از استاد برای رفع مشکل کمک بگیرید. وسایلی که برای انجام آزمایش استفاده کرده‌اید در پایان کارتان در محل مشخص شده قرار دهید.

۳- **تنظیم و تقسیم کار:** زمان انجام آزمایش اغلب محدود است باید طوری برنامه‌ریزی کنید که بتوانید از وقتی که در اختیار شماست بیشترین استفاده را بنمایید. زمانی‌که چند نفر با یکدیگر کار می‌کنید باید ضمن تنظیم کار، وظیفه‌ی هر شخص مشخص باشد، یکی اسباب‌ها را آماده و نصب نماید و دیگری زمان را اندازه بگیرد. در زمان آزمایش باید یک نفر مراقب دماسنج باشد، دیگری زمان را اندازه بگیرد و یادداشت نماید.

٤- **نظم و ترتیب:** انجام آزمایش صحیح و اخذ نتیجه، مستلزم رعایت نظم و ترتیب است، مثلا دستگاه‌های سنجش را طوری مرتب نموده که به آسانی و بدون ایجاد خستگی برای بدن یا چشم بتوان آزمایش را انجام داد یا وسایل آزمایش را طوری قرار دهید که مزاحم کارتان نباشد.

۵- **دستور نوشتن دفتر کار:** هر دانشجو برای نوشتن نتایج آزمایش و محاسبات لازم، باید دفتر مخصوص داشته باشد.

٦- در دفتر کار آزمایشگاه باید آنچه در ضمن‌کار پیش می‌آید هر نتیجه‌ای که بدست می‌آورید، هر مشکلی که به آن بر می‌خورید و راه حل مشکل را یادداشت کنید به‌طوری‌که دفتر کارتان معرف کار شما در آزمایشگاه و راهنمای شما باشد.

۷- **دستور تهیه گزارش کار:** برگ گزارش کار باید به ترتیب زیر نوشته شود:

۱) نام آزمایش
۲) هدف از انجام آزمایش
۳) شرح لوازمی که در آزمایش به‌کاررفته‌است
٤) رسم شکل یا نمای سوار کردن اسباب‌ها به‌طور واضح
۵) شرح عمل و اندازه‌گیری و نتایج در جدول
٦) محاسبه خطاها و تعیین آخرین نتیجه دقیق
۷) نتیجه از انجام آزمایش

گزارش کار باید به‌صورتی باشد که مطلب، جدول، محاسبات و سوالات در آن ثبت شده باشد و دانشجو موظف است در جلسه‌ی مشخص و در زمانی که استاد تعیین می‌نماید آن را کامل نموده و به استاد خود تحویل دهد.
این برگه به‌عنوان نتیجه یک جلسه کار عملی شما محسوب می‌شود.

✤ رسم نمودار و نمایش توابع

مقدمه

بررسی پدیده‌های طبیعی و فیزیکی و وضع قوانین جدید، معمولا در دو مرحله کاملا متمایز صورت می‌گیرد. در مرحله نخست کوشش می‌شود تا عواملی که به‌هم بستگی دارند را بشناسیم و سپس در مرحله بعدی سعی بر آن است که میزان و درجه این بستگی‌ها به کمک آزمایش یا قوانین مسلم دیگری تعیین شود. برای اینکه بتوان رابطه دو متغیر و چگونگی وابستگی آن‌ها را بهتر حدس زد و نیز مقادیر ثابتی که دو متغییر را به هم مربوط می‌سازد محاسبه نمود، لازم است با تکرار آزمایش مقادیر مختلفی از تغییرها را یافته و در جدولی قرار داد. با توجه به اعداد جدول نمی‌توان به سادگی رابطه دو متغیر را به‌دست آورد، ولی اگر مقادیر را روی محورهای مختصات انتقال دهیم و نمودار تغییرات دو عامل را رسم نماییم در آن صورت بررسی ممکن خواهد بود و علاوه برآن می‌توانیم مقادیر مورد نیاز را بر حسب مقادیر دیگری که قبلا اندازه نگرفته‌ایم، از روی نمودار بدست آوریم و نیز اشتباهات را به‌طور تقریبی برآورد کنیم.

۱- **انواع کاغذ ترسیم**: برای نمایش توابع معمولا سه نوع کاغذ مورد استفاده است.

الف) کاغذ ترسیم میلی‌متری: این کاغذ از خطوط متعامد و به فاصله یک میلی‌متری تشکیل شده‌است. روی این کاغذها هر نوع تابعی را می‌توان نمایش داد. مثلا شکل $y=ax+b$ روی این کاغذها به شکل خط مستقیم است که از روی آن می‌توان مقادیر (a,b) را بدست آورد.

ب) کاغذ ترسیم نیمه‌لگاریتمی: برای ترسیم منحنی نمایش توابع نمایی $(y=de^{x})$ از کاغذ ترسیم نیمه‌لگاریتمی که یک محور آن میلی‌متری و محور دیگر آن دارای تقسیمات لگاریتمی است استفاده می‌شود.

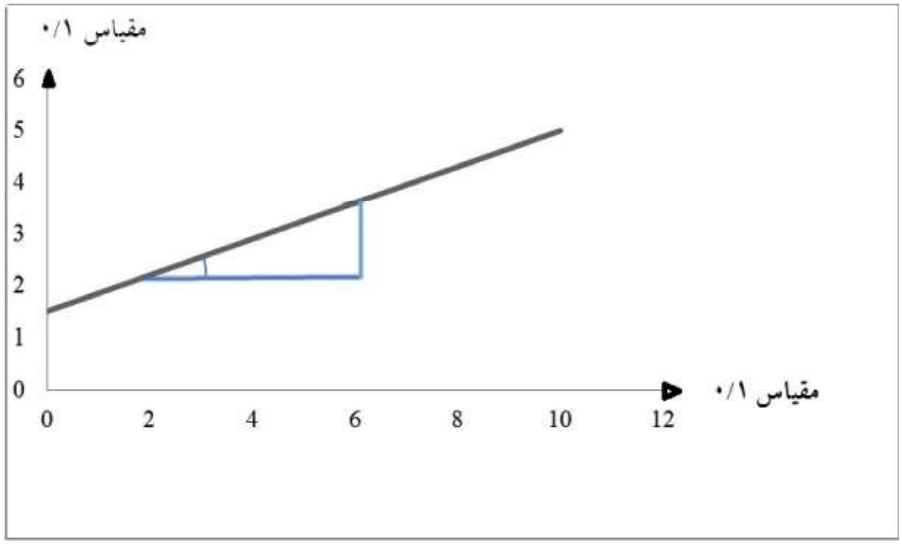
ج) کاغذ ترسیم لگاریتمی: این نوع کاغذ برای رسم توابع $(y=dx^{m})$ مانند $x=\frac{1}{2}gt^{2}$ به‌کار می‌رود که هر دو محور آن دارای تقسیمات لگاریتمی است.

۲- **روش رسم نمودار**: در رسم نمودار به نکات زیر باید توجه داشته باشید.

۲-۱- نمودار را فقط روی کاغذهای ترسیم (میلی‌متری) رسم کنید.

۲-۲- واحدهایی را که به روی هر محور به‌کار می‌برید کاملا مشخص و در کنار آن یادداشت کنید.
۲-۳- محورها کاملا مدرج گردند، برای این کار تنها مثبت اعداد درست و متساوی الفاصله کافی است، مثلا فواصل ۵ یا ۱۰ و... واحد باشد.
۲-٤- لزومی ندارد که مبدا هر محور صفر انتخاب شود، برای آسانی کار می‌توانید مبدا را در مورد هر محور عددی انتخاب نمایید که هم عددی درست بوده و هم به کم‌ترین مقدار مربوط به آن محور نزدیک باشد.
۲-۵- در انتخاب مقیاس برای دقت کافی، بهتر است که هر یک یا نیم میلی‌متر، نمایش یک واحد از آخرین رقم اعشاری قابل اهمیت باشد.
۲-٦- نقاط نمودار تجربی را با علامت(Y) یا (X) مشخص کنید.
۲-۷- یادداشت مقادیر مربوط به نقاط تجربی منحنی، روی محورها ضرورت ندارد.
۲-۸- مقیاس هر محور را در کنار محور یادداشت کنید.
۲-۹- در رسم منحنی و نمودار لازم نیست که نقاط را به یکدیگر وصل کنید، بلکه باید رسم نمودار طوری باشد که نزدیک‌ترین فاصله را به نقاط داشته باشد.

۳- **روش اندازه‌گیری شیب:** هرگاه در روی محورهای کاغذ ترسیم ، نمودار به شکل خط باشد با تعیین شیب خط می‌توان از نوع بستگی کمیات اطلاع یافت. شیب خط اندازه تانژانت زاویه‌ای است که خط با جهت مثبت محور xها می‌سازد. برای این منظور باید قائم‌الزاویه‌ای که وتر آن خط مورد نظر و اضلاع آن موازی محورهاست، رسم نمود و یا تعیین نسبت ضلع موازی با محور قائم به ضلع موازی محور افقی و با توجه به مقیاس هر محور زاویه و تانژانت زاویه (شیب) را به‌دست آورد. نمودار (۱) به‌طور تجربی برای رابطه بین سرعت و زمان در حرکت تندشونده رسم شده است.
شیب نمودار ، شتاب حرکت را به‌دست می‌آورد.



نمودار ۱

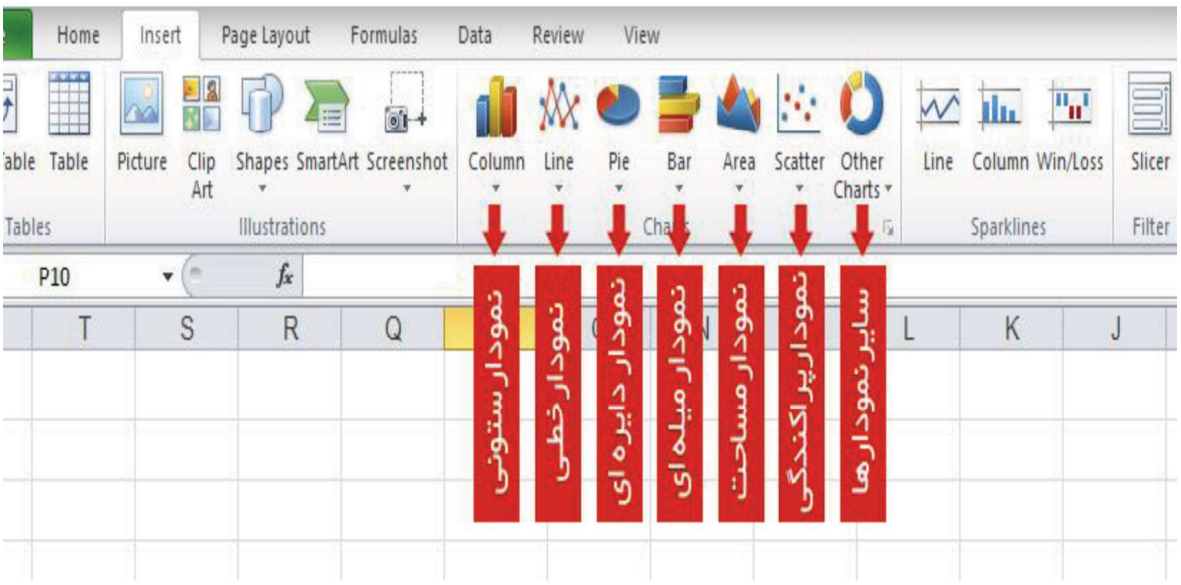
$$\alpha = \tan\alpha = \frac{1}{4} = 0.25\ cm/sec^2$$

✤ رسم نمودار در اکسل

روش دیگر رسم نمودار، استفاده از نرم‌افزارها می‌باشد. ساده‌ترین و در دسترس‌ترین نرم‌افزار جهت رسم نمودار، اکسل است. یکی از قابلیت‌های مهم نرم‌افزار اکسل، رسم نمودار براساس داده‌های موجود در صفحه گسترده است که به تجزیه و تحلیل داده‌ها کمک می‌کند و می‌تواند سبب ارزیابی و مقایسه ساده‌تر و سریع‌تر داده‌ها شود. در واقع یکی از مزیت‌های اصلی رسم نمودار این است که با یک نگاه گذرا نیز می‌توان به‌راحتی تغییرات یک متغیر وابسته (محور عمودی) را به ازای تغییرات متغیر مستقل (محور افقی) متوجه شد. دراین قسمت با انواع نمودار در اکسل و کار با بعضی از آنها، که در این درس به آنها نیاز دارید، آشنا خواهید شد.

آشنایی با انواع نمودار در اکسل

در شکل (۱) انواع نمودارها در اکسل نمایش داده شده‌اند.



شکل ۱: انواع نمودار در نرم‌افزار اکسل

۱- **نمودار ستونی(Column)**: در این نمودار می‌توانید عنصری را با عنصر دیگر مقایسه کنید. مثلا میزان بارش باران در یک سال در ماه‌های مختلف.
۲- **نمودار خطی(Line)**: برای نشان دادن تغییرات یک متغیر نسبت به زمان استفاده می‌شود، مثلا میزان رشد قد یک کودک در یک سال.
۳-**نمودار دایره‌ای(Pie)**: برای نشان دادن متغیرهای یک هدف خاص به‌کار می‌رود، مثلا نشان دادن حجم استفاده شده درایوها در یک کامپیوتر.
٤- **نمودار میله‌ای(Bar)**: همان نمودار ستونی است با این تفاوت که ستون‌ها به‌صورت سطری استفاده می‌شوند.
٥- **نمودار مساحتی(Area)**: بیشتر برای حساب کردن انتگرال بین دو بازه زمانی کاربرد دارد.
٦- **نمودار پراکندگی(Scatter)**: به نمودار (X-Y) معروف است و برای نشان دادن تاثیرات دو متغیر روی هم کاربرد دارد. مثل نمودار فشار بر حسب دما.
۷- **سایر نمودارها (Other Charts)**: برای ترسیم سایر نمودارها.

اکنون به توضیح بیشتر درباره رسم دو نمودار پرکاربرد (نقاط پراکنده و نمودار خطی) که در این درس استفاده بسیاری از این دو مدل نمودار می‌شود، می‌پردازیم.

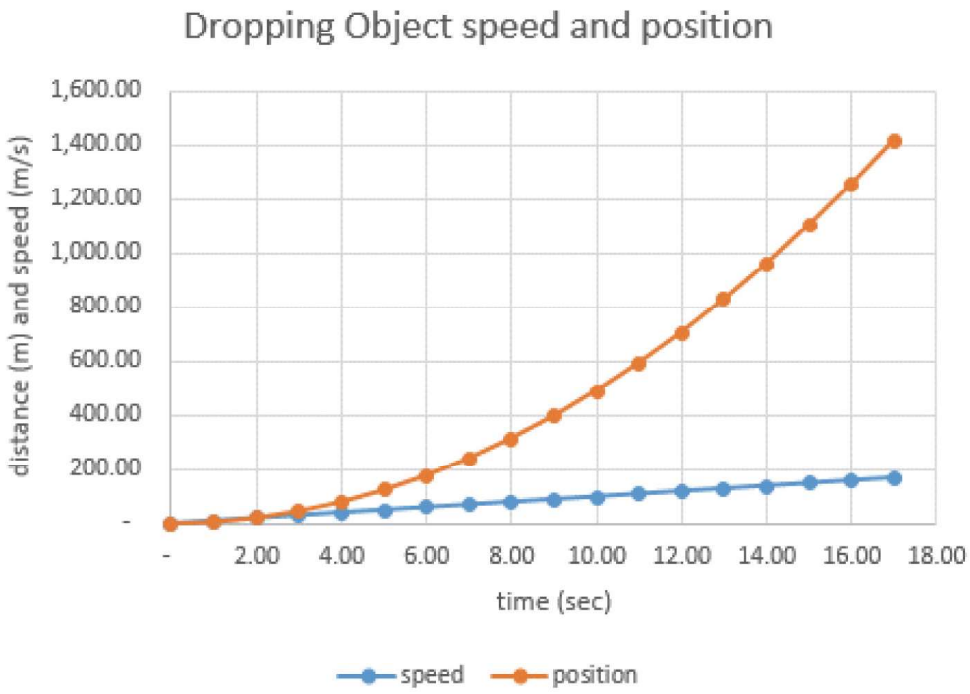
۱- نمودار نقاط پراکنده یا Scatter:

جدول(۱) را که تغییرات سرعت و مکان را براساس زمان نشان می‌دهد به‌عنوان مثال در نظر می‌گیریم (دو y و یک x).

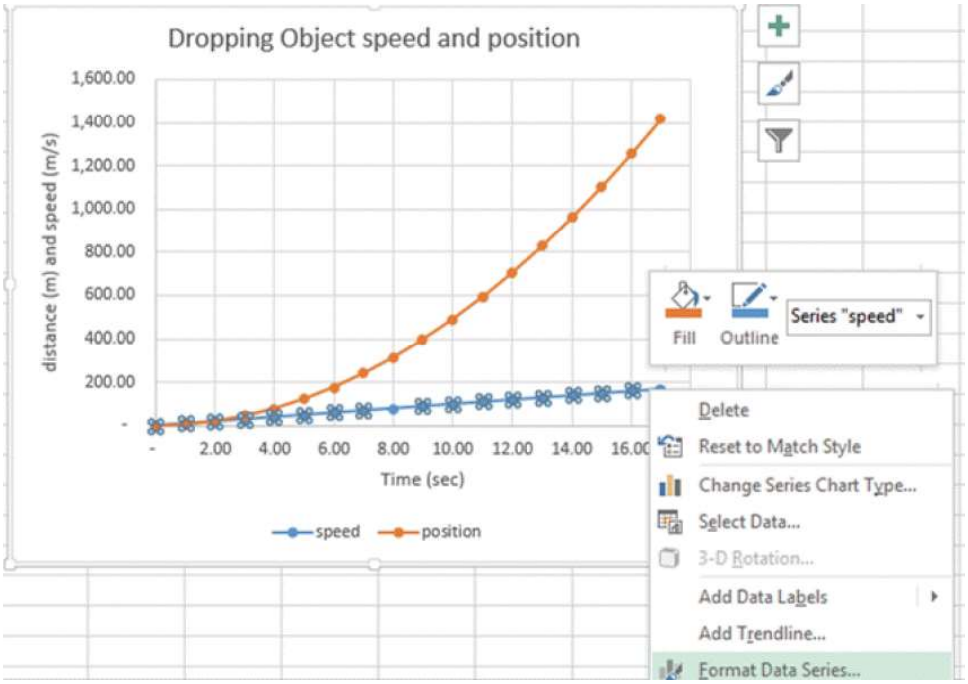
	A	B	C
1	time	speed	position
2	-	-	-
3	1.00	9.81	4.91
4	2.00	19.62	19.62
5	3.00	29.43	44.15
6	4.00	39.24	78.48
7	5.00	49.05	122.63
8	6.00	58.86	176.58
9	7.00	68.67	240.35
10	8.00	78.48	313.92
11	9.00	88.29	397.31
12	10.00	98.10	490.50
13	11.00	107.91	593.51
14	12.00	117.72	706.32
15	13.00	127.53	828.95
16	14.00	137.34	961.38
17	15.00	147.15	1,103.63
18	16.00	156.96	1,255.68
19	17.00	166.77	1,417.55

جدول ۱

در حالت عادی پس از انتخاب داده‌ها و رسم نمودار از نوع Scatter شکل(۲) نمایش داده می‌شود. البته عنوان نمودار و محورها پس از رسم به آن اضافه شده است.

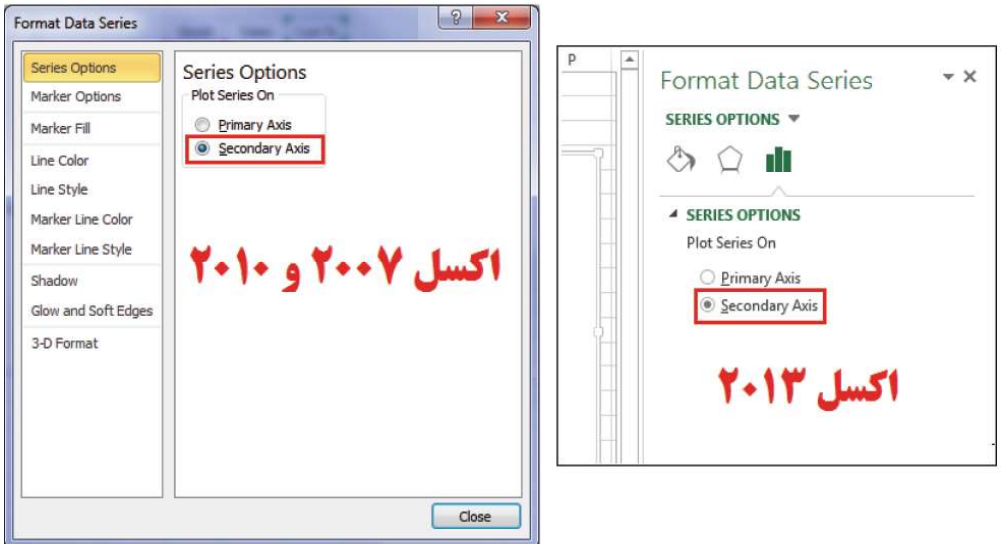


شکل ۲: نمودار از نوع Scatter



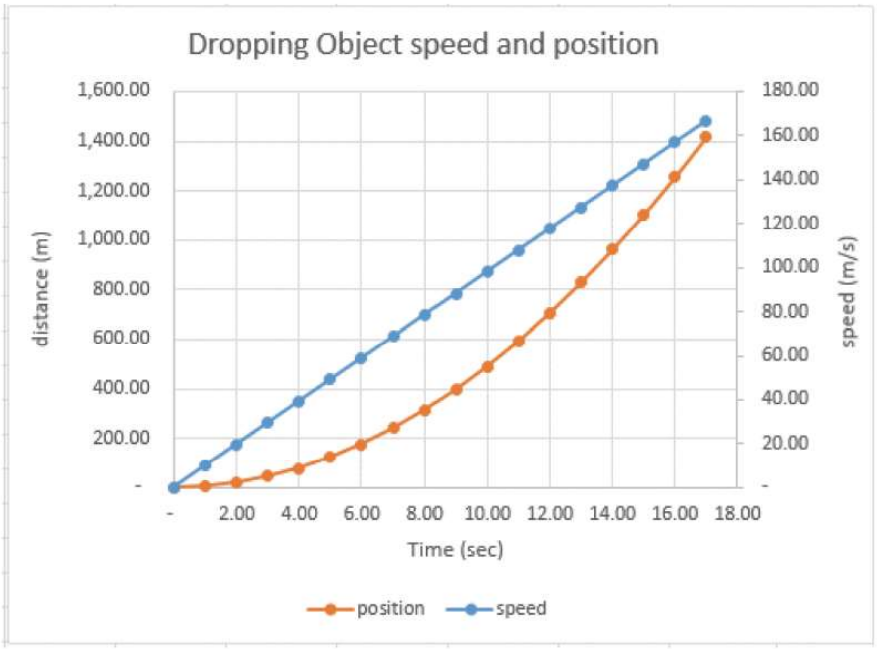
شکل ۳

از آنجایی که در مثال بیان شده تغییرات سرعت در مقابل مکان کمتر است، بهتر است که از دو محور عمودی استفاده شود تا این تغییرات بهتر نمایش داده شود. برای انجام این کار روی یکی از دو منحنی کلیک کنید. مثلا منحنی سرعت، سپس راست کلیک کرده و گزینه Format Data Series را انتخاب نمایید.(مطابق شکل ۳)
در پنجره باز شده مطابق شکل (٤) گزینه Secondary Axis را انتخاب کنید تا برای داده‌های انتخاب شده محور عمودی دوم ظاهر شود.



شکل ٤

پس از انجام کارهای بیان شده شکل(۵) حاصل می‌شود. کاملا مشخص است که با اضافه شدن محور عمودی دوم، تغییرات سرعت، بهتر قابل مشاهده است.



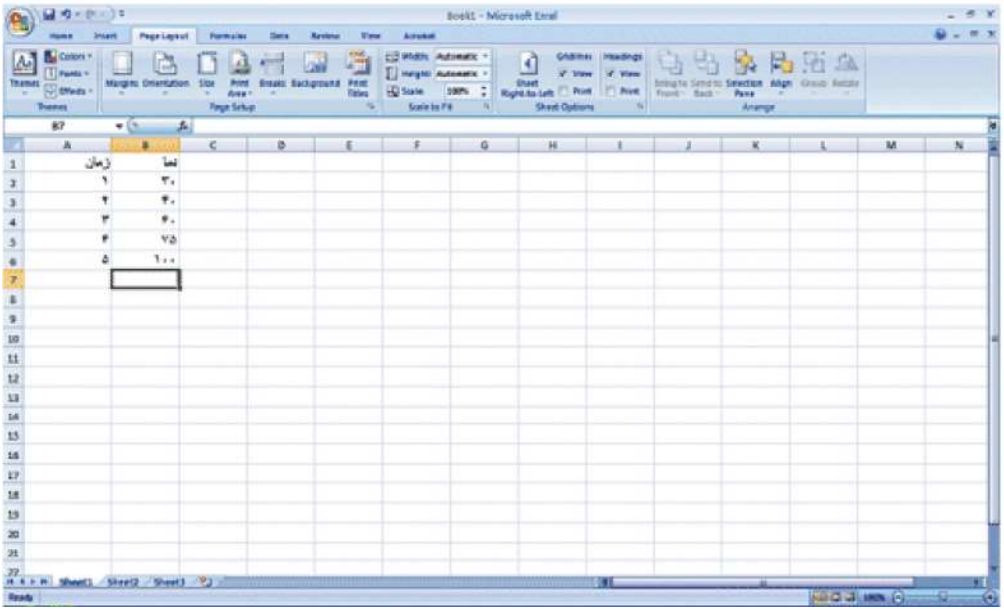
شکل ۵

۲- نمودار خطی

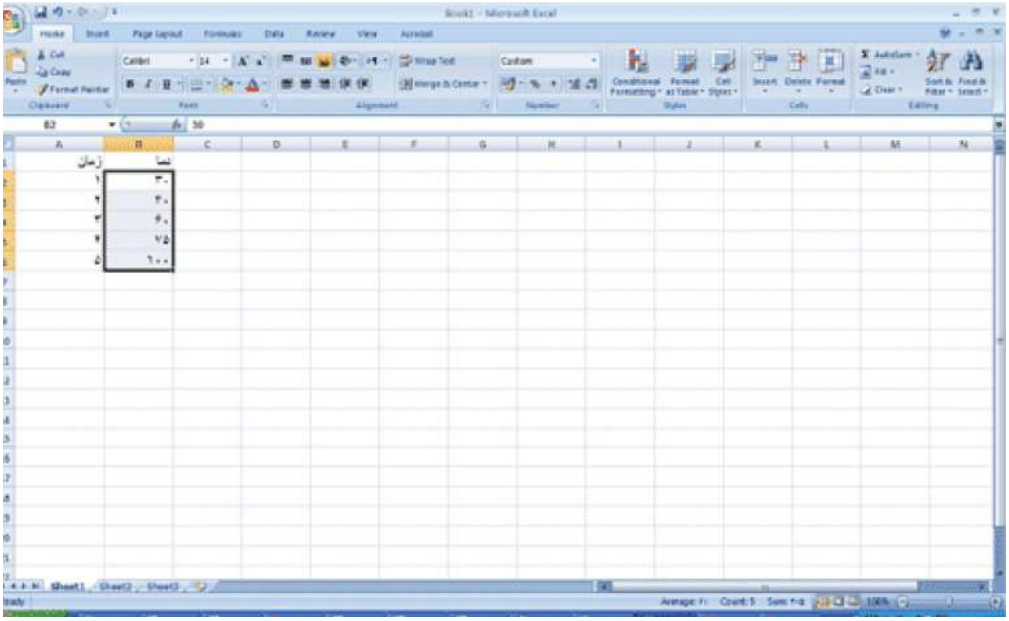
این نمودار شبیه نمودار پراکنده است با این تفاوت که چند گروه دارای دو صفت در محور عمودی و افقی نشان داده می‌شوند و نقاط مربوط به یک گروه با خط به‌هم وصل می‌شوند. این نوع نمودار برای تاکید بر روند و تغییرات مقادیر در طول زمان به‌کار می‌رود. برای رسم این نوع نمودار کافی است مانند روش‌های قبل داده‌ها را وارد و انتخاب کنید و با رفتن به قسمت Insert و انتخاب الگوی Linear نمودار موردنظرتان را انتخاب کنید.

هنگام انتخاب کردن (مارک کردن) داده‌ها توجه داشته باشید که تنها ستون مربوط به متغیر وابسته را انتخاب کنید(مطابق شکل ۷) و نام ستون‌ها را انتخاب نکنید. برنامه به‌طور خودکار ستون مربوط به متغیر مستقل را روی محور افقی و ستون مربوط به متغیر وابسته را روی محور عمودی نشان خواهد داد.

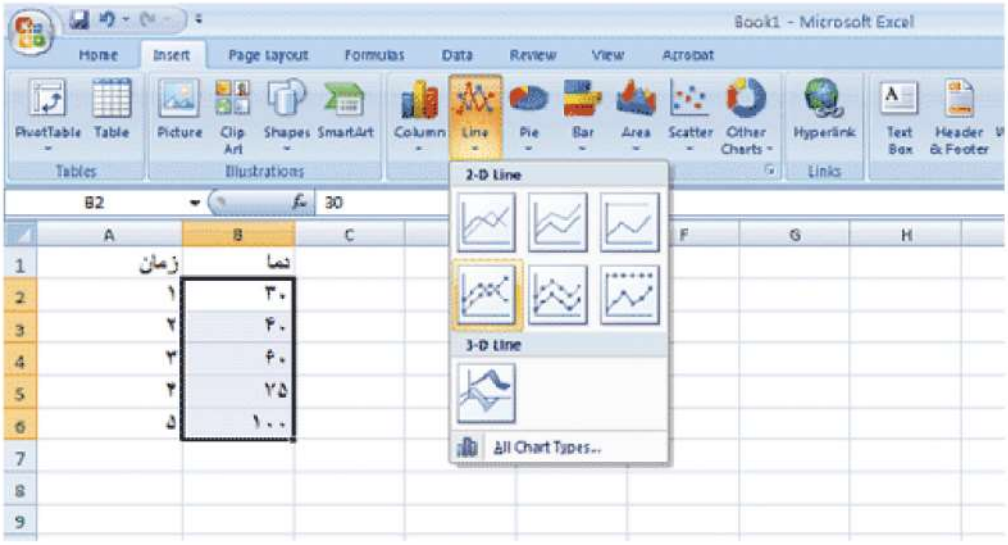
این نمودار پرکاربردترین نوع نمودار در اکسل است.



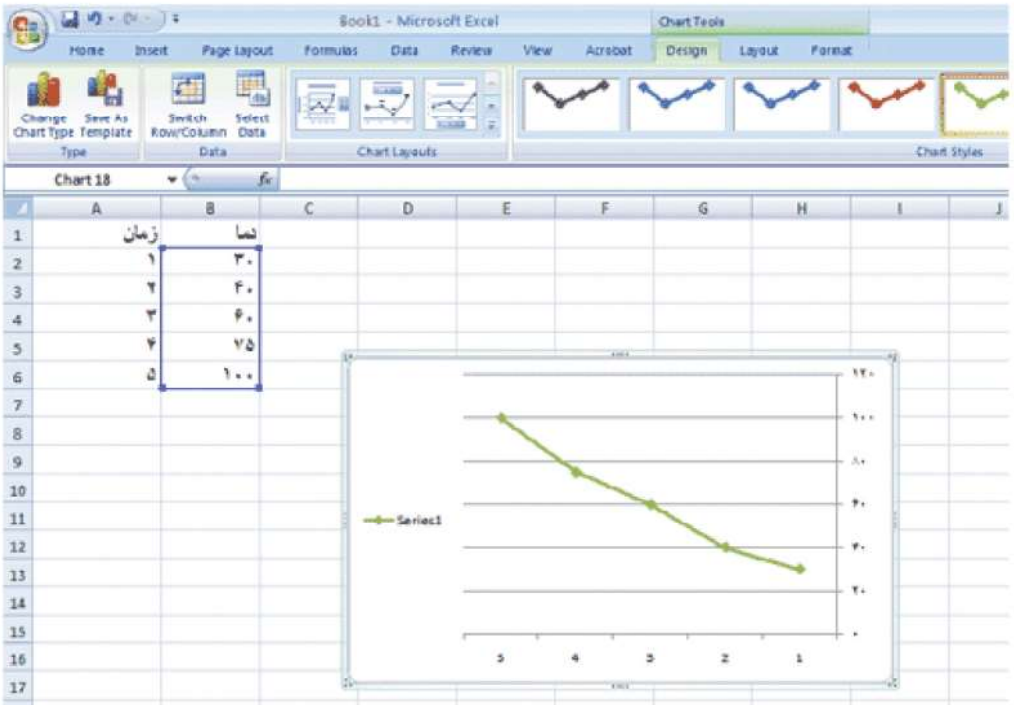
شکل ۶



شکل ۷

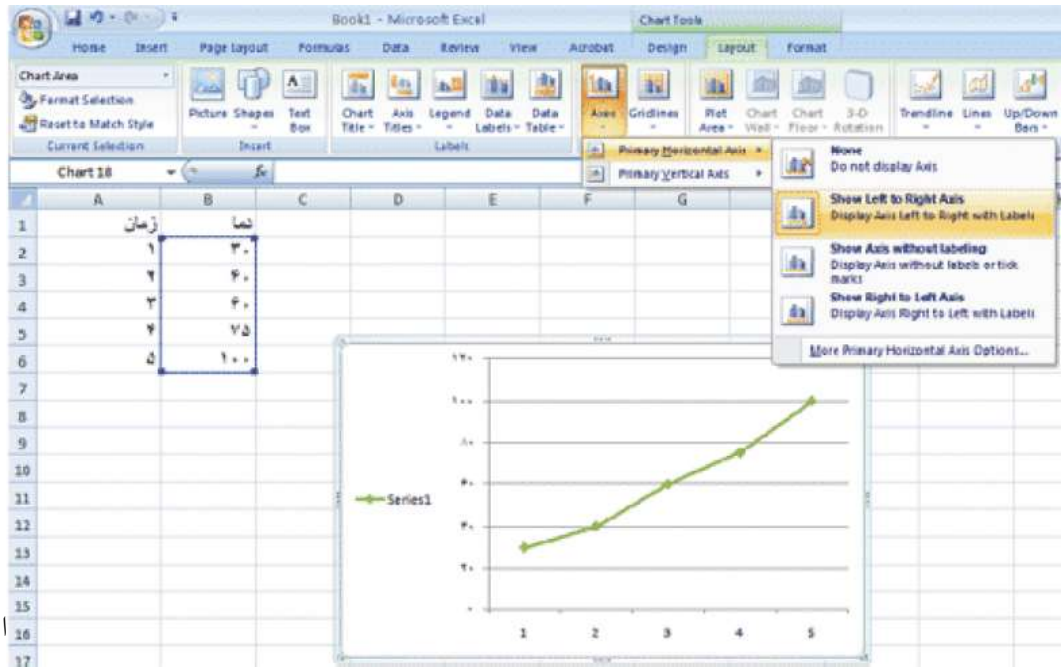


شکل ۸



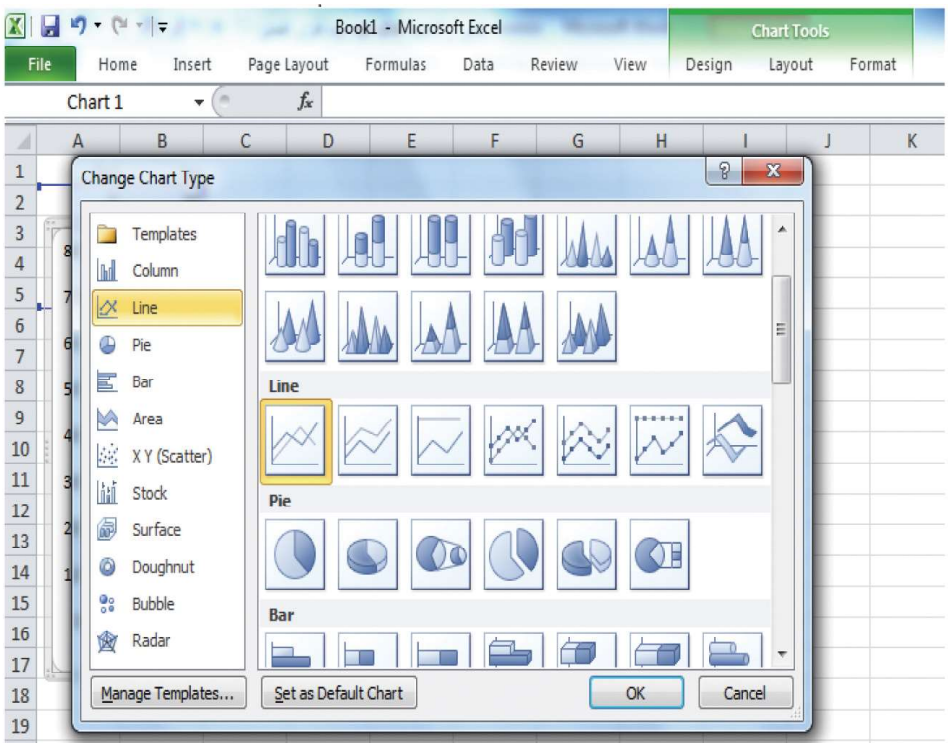
شکل ۹

برای تغییر مشخصات نمودار می‌توانید روی آن کلیک کنید. مطابق شکل(۹) در بالای صفحه، قسمت منو، سربرگ‌های Design Layout و Format پدیدار می‌شوند. از آن‌ها برای ایجاد تغییرات گوناگون در نمودارتان استفاده کنید. برای مثال جهت نمودار را می‌توانید مطابق شکل(۱۰) تغییر دهید.



شکل ۱۰

اگر دوست داشتید نوع نمودار را تغییر دهید، در همان صفحه نمودار، بر روی گزینه change chart type کلیک کنید همان‌طور که در شکل (۱۱) مشاهده می‌کنید در این قسمت ما انواع نمودار را داریم و با توجه به نیاز خود از آن‌ها استفاده خواهیم کرد.



شکل ۱۱

✤ بررسی خطاها

سنجش و اندازه‌گیری یک کمیت فیزیکی، تعیین اندازه دقیق آن بر حسب واحد مربوطه است و چون این سنجش تجربی است از این‌رو کمیت، با خطا و اشتباه همراه خواهد بود. خطا در یک اندازه‌گیری عبارت است از میزان انحراف نتیجه سنجش از مقدار واقعی کمیت مورد نظر.
اندازه‌گیری دقیق یک کمیت بی‌معناست، چون عوامل زیادی مانع از رسیدن ما به مقدار حقیقی کمیت می‌شوند که حذف همه آنها به‌طور کامل ممکن نیست.

۱-عوامل خطا

بعضی از این عوامل خطا عبارتند از:

الف) تغییرات طبیعی یک کمیت: مثلا تغییراتی که زمان اندازه‌گیری دما، فشارجو، سرعت و ... پیش‌می‌آید.

ب) روش آزمایش: برای انجام آزمایش با اندازه‌گیری ممکن است روش‌های مختلفی وجود داشته باشد و باید سعی کرد روشی را انتخاب نمود که دقت آن بیش از سایر روش‌ها باشد.

ج) نقص وسایل آزمایش: شامل نادرستی تقسیمات وسیله، تنظیم نشدن صحیح دستگاه و معایب ساختمانی وسایل می‌باشد. اصولا وسایل اندازه‌گیری باید دارای صفات و خصوصیات زیر باشند:

– وفاداری: دستگاهی وفادار است که نتایج اندازه‌گیری یک کمیت در دفعات مختلف و با شرایط یکسان، همواره یکسان باشد.

– درستی: دستگاهی که نتیجه سنجش یک کمیت با آن به مقدار واقعی کمیت خطی نزدیک باشد درست است.

– حساسیت: وسیله‌ای حساس است که کوچک‌ترین تغییر در کمیت مورد سنجش را نشان دهد.

د) عوامل مربوط به آزمایش‌کننده: در آزمایش، مهارت آزمایش‌کننده در به‌دست آوردن نتیجه صحیح تاثیر فراوان دارد. مهارت مستلزم تمرین و رعایت نکات ضروری آزمایش و دقت کافی می‌باشد. چگونگی حواس و قوای بدنی شخص آزمایش‌کننده از قبیل خستگی، کندی ذاتی، بی‌حوصلگی، بی‌قیدی، ضعف بینایی و امثال آن در نتیجه آزمایش موثر است.

۲-انواع خطا

خطایی که موجب افزایش مقدار حقیقی کمیت شود مثبت و خطایی که باعث نقصان مقدار حقیقی کمیت شود منفی درنظر گرفته می‌شود.

۲-۱- خطای شخصی: در این گونه خطاها خود شخص آزمایش‌کننده، باعث بروز نتایج نادرست می‌شود. به‌عنوان مثال در سنجش و اندازه‌گیری پی‌درپی یک کمیت با آزمایش به‌طور معمول نتیجه سنجش یا آزمایش نخست را درست می‌پندارد و سعی می‌کند نتایج آزمایش‌های بعدی را به آن نزدیک نماید. همچنین خطاهایی که از برآورد نادرست در خواندن درجه‌بندی، عدم توجه کافی در تنظیم ابزار، نداشتن تمرکز کافی و قوای بدنی، خطای پارالاکس[1]، عدم سرعت انتقال، نتیجه می‌شود، از دیگر خطاهای شخصی به حساب می‌آید. برای کاهش اثر خطای شخصی باید آزمایش در شرایط مختلف و به‌وسیله اشخاص مختلف انجام شود.

۲-۲- خطای اتفاقی یا تصادفی یا کاتوره‌ای: این‌گونه خطاها در اثر شرایط و عواملی که از حدود اختیار آزمایش‌کننده خارج است، به‌وجود می‌آید و در نتیجه غیرقابل اجتناب است. خطای اتفاقی از نظر مقدار و جهت متغیر است، مانند خطاهای ناشی از، تغییرات دما و فشار جو.
تغییرات جریان برق و حتی خود شخص اندازه‌گیر می‌تواند عامل تولید خطای کاتوره‌ای باشد. فرض کنید زمان تناوب یک آونگ را چندین بار با کرنومتر اندازه گرفته‌ایم، خطای حاصل از به‌کار انداختن و متوقف کردن کرنومتر و بی‌نظمی‌های کوچک در حرکت آونگ را می‌توان به‌عنوان خطای کاتوره‌ای در نظرگرفت.

۲-۳- خطای اسبابی: وسایل سنجش با ضوابط خاصی مدرج شده است. حال اگر این وسایل در شرایطی کاملا متفاوت با شرایط اشاره شده به‌کار روند نتایج اندازه‌گیری صحیح نخواهد بود و یا ممکن است به علت نقص و فرسودگی وسایل، آزمایش بدون خطا نباشد، برای رفع این‌گونه خطاها باید وسایل را با دستگاه‌های میزان (استاندارد) مقایسه کرده و آن‌ها را تصحیح نمود.

۲-۳- خطای سیستماتیک یا ذاتی: این‌گونه خطاها در اثر تنظیم نادرست وسیله، خطا در روش سنجش و بدی شیوه درجه‌بندی وسیله، به‌وجود می‌آید. خطاهای سیستماتیک همیشه در یک جهت هستند (مثبت یا منفی) مثل کرنومتری که همیشه کمی کند کار می‌کند یا ولت‌سنجی که محور عقربه آن دقیقا در مرکز صفحه مدرجش نباشد.

۳- محاسبه خطاهای مستقیم

الف- مقدار متوسط: هرگاه در اندازه‌گیری‌های مستقیم و پی‌درپی یک کمیت، نتیجه n دفعه اندازه‌گیری $x_1, x_2, \ldots, x_n$ باشد مقدار متوسط کمیت (میانگین) چنین است.

$$x_m = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n} = \sum_{I=1}^{n} Xi/n \qquad (۱)$$

مقدار متوسط یک کمیت، محتمل‌ترین مقدار کمیت است.

---

۱ عبارتست از خطای حاصل از قرائت غیرعمودی درجه‌بندی دستگاه

ب- خطای مطلق: اختلاف بین مقدار اندازه گرفته شده یک کمیت و مقدار حقیقی آن، خطای مطلق (ΔX) است، ولی چون مقدار حقیقی کمیت مشخص نیست می‌توان حداکثری به نام «خطای مطلق ماکزیمم» در نظرگرفت که با استفاده از مقدار متوسط کمیت به‌جای مقدار حقیقی بدست می‌آید. بنابراین برای بدست آوردن خطای مطلق اختلاف مقدار اندازه‌گرفته‌شده را از مقدار متوسط (میانگین) به‌دست‌می‌آوریم.
در هر بار اندازه‌گیری خطایی مرتکب شده‌ایم که بزرگ‌ترین خطا را خطای مطلق ماکزیمم می‌گویند.

$$\Delta x = \left| x - \bar{x} \right| \qquad (۲)$$

خطای مطلق = میانگین – عدد اندازه‌گیری شده
بزرگترین اختلاف با میانگین = خطای مطلق ماکزیمم

ج- خطای نسبی: خطای مطلق به تنهایی معرف چگونگی دقت اندازه‌گیری نیست ولی خطای نسبی که به‌صورت حاصل تقسیم خطای مطلق بر مقدار اندازه گرفته شده کمیت، تعریف می‌شود و بر حسب درصد بیان می‌گردد، می‌تواند مشخص‌کننده مقدار دقت آزمایش باشد. برای خطای نسبی نیز تنها می‌توان حداکثری به نام «خطای نسبی ماکزیمم» در نظرگرفت.

$$\text{خطای نسبی} = \frac{\Delta x}{x} = N\% \qquad (۳)$$

$$\text{خطای نسبی ماکزیمم} = \frac{\text{خطای مطلق ماکزیمم}}{\text{مقدار واقعی کمیت (میانگین)}} \qquad (٤)$$

درصد خطا: حاصل ضرب خطای نسبی در عدد ۱۰۰ را درصد خطا گویند اگر خطای نسبی یک اندازه‌گیری $\frac{1}{90}$ باشد درصد خطا در این اندازه‌گیری $\frac{1}{90} \times 100 = \frac{100}{90} = 1.1$ خواهند بود و به صورت 1.1 ٪ نشان‌داده می‌شود.

د- خطای تخمینی: خطای تخمینی بیان می‌کند که تا چه اندازه می‌توان به مقدار کمیت داده شده اطمینان پیدا کرد. مثلا اگر طول یک میز ۱۲۰ سانتی‌متر باشد و خطای تخمینی آن ۵ سانتی‌متر گزارش داده شود، آن‌را به این صورت می‌نویسیم:

$$۱۲۰ \pm ۵ \text{ cm}$$

تعبیر اولیه این عبارت این است که طول واقعی میز عددی بین ۱۱۵ و۱۲۵ سانتی‌متر (۵–۱۲۰ و ۵+۱۲۰) می‌باشد اما معنی دقیق‌تر آن می‌گوید طول واقعی میز به احتمال حدود ٦٨ درصد بین ۱۱۵ و ۱۲۵ سانتی‌متر و به احتمال حدود ۹۵ درصد بین ۱۱۰ و ۱۳۰ سانتی‌متر (۵ ۲–۱۲۰ و ۵ ۲+ ۱۲۰) می‌باشد.
یعنی حداکثر چیزی که خطای تخمینی یک کمیت بیان می‌کند این است که مقدار واقعی کمیت با احتمال معینی در داخل گستره‌ای در اطراف مقدار گزارش‌شده می‌باشد.

٤- خطای وسایل اندازه‌گیری

ما با وسایل اندازه‌گیری گوناگونی در کارهای آزمایشگاهی روبرو هستیم مثل خط‌کش، کولیس، ریزسنج، زمان‌سنج، نیروسنج، ترازو، دماسنج و ... که بعضی از آن‌ها هم به‌صورت دیجیتال (رقمی) هستند. هدف از این بخش این است‌که بدانیم هر وسیله اندازه‌گیری تا چه دقتی مقدار کمیت مورد نظر را بدست می‌دهد همچنین با بعضی نکات در مورد خواندن درست کمیات آشنا می‌شویم.

الف- وسایل اندازه‌گیری مدرج
گروهی از وسایل اندازه‌گیری دارای قسمتی مدرج هستند که باید با چشم خوانده شوند مثل خط‌کش، کولیس، ریزسنج، ترازو و ... . نکته نخست در خواندن کمیت در این وسایل این است که راستای چشم عمود بر صفحه مدرج باشد.
و اما خطای این وسایل:
یک قانون سردستی می‌گوید که خطای آن‌ها نصف کوچک‌ترین درجه‌بندی موجود است.

مثال: خواسته شده با خط‌کشی عرض یک میز اندازه گرفته شود. یک طرف میز روی صفر خط‌کش و طرف دیگر خط‌کش بین ۵۸/۲ و ۵۸/۳ سانتی‌مترمی‌افتد یعنی عرض میز باید عددی بین این دو عدد باشد پس طول میز برابر ۵۸/۲۵ ± ۰/۰۵ cm است.

احتمالا باید متوجه شده باشید که این قانون سردستی از کجا آمده‌است البته اگر شاخص وسیله به یک درجه در روی صفحه مدرج خیلی نزدیک باشد می‌توانیم خطا را باز کاهش دهیم مثلا ربع کوچک‌ترین درجه‌بندی.

خطایی که برای وسایل اندازه‌گیری مدرج وجود دارد از دو جهت ناشی می‌شود.
۱-از دستگاه: هر دستگاهی دقتی دارد که در محدوده همان دقت می‌توان به آن اعتماد کرد.
۲-از شخص اندازه‌گیر: وقتی شاخص وسیله بین دو درجه‌بندی است و بین آن‌ها درجه‌بندی وجود ندارد تشخیص مقدار این که شاخص در چه کسری از فاصله دو درجه‌بندی قرار دارد با چشم مشکل است و بی‌شک تولید خطا می‌کند حال ممکن است وسیله‌ای تااندازه‌ای دقیق مدرج شده باشد اما خطای چشم مانع از رسیدن به دقت واقعی دستگاه باشد. استفاده از ورنیه (همان چیزی که در کولیس به‌کار رفته‌است) ابتکار زیبایی برای رفع این مشکل است.

ب- وسایل اندازه‌گیری دیجیتال
این وسایل صفحه‌ای دارند که کمیت مورد نظر را به‌صورت یک عدد تحویل می‌دهند.
در رقم آخر این وسایل ابهامی وجود دارد پس با یک حساب سردستی می‌توان خطای آن‌ها را برابر کوچک‌ترین مقداری که می‌توانند نشان دهند قرار داد.

مثال: اختلاف پتانسیل یک باتری را با یک مولتی‌متر دیجیتال ۱/۲۵ ولت می‌خوانیم در نتیجه خطای آن برابر ۰/۰۱ ولت می‌باشد (۱/۲۵ + ۰/۰۱ V).

ممکن است دقت وسیله بیش از عددی باشد که نشان می‌دهد و عدد نشان داده شده، عددی گرد شده از عدد دقیق‌تر باشد در این حالت خطای کمیت نصف کوچک‌ترین مقدار است همچنین ممکن است خطای وسیله روی آن نوشته شده باشد. حالتی که خطای وسیله بیشتر از کوچک‌ترین مقدار باشد غیراستاندارد ولی ممکن است.

ج- دیگر خطاهای وسایل اندازه‌گیری
تاکنون فرض می‌شد وسایلی که با آن‌ها کار می‌کنیم در حد درجه‌بندی خود، عدد درستی را نشان می‌دهند اما همیشه این‌گونه نیست و بیشتر اوقات هم مجبور به تعویض وسیله هستیم ولی گاهی اوقات می‌توان با کمی اصلاح

عدد درست را از وسیله گرفت. یک نمونه آن خطای صفر است. فرض کنید با نیروسنجی می‌خواهید وزن یک جسم را پیدا کنید.
وقتی نیروسنج را قائم نگه می‌دارید بدون آنکه جسم را به آن متصل کرده باشید نیروسنج به شما عددی غیرصفر می‌دهد این همان خطای صفر است. در این حالت خاص شما عدد را یادداشت می‌کنید و از عددی که در موقع وصل کردن جسم مورد نظر خوانده‌اید کم می‌کنید. در بعضی وسایل اندازه‌گیری امکاناتی وجود دارد که صفر دستگاه را تنظیم کنید مثل ترازوهای یک کفه‌ای.

آزمایش شماره ۱: وسایل اندازه‌گیری

فیزیک علم اندازه‌گیری یا به‌عبارتی علم تجربه‌های کمی است. ابزارهای اندازه‌گیری بسیاری با دقت بالا به‌منظور رفع نیازهای آزمایشگاه‌های فیزیک ساخته شده‌اند و همواره در حال توسعه می‌باشند. اندازه‌گیری طول و جرم در کار علمی از اهمیت بنیادی برخوردار است که در بیشتر آزمایش‌ها اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین ما کار علمی در این آزمایشگاه را با اندازه‌گیری این کمیت‌ها و با استفاده از ابزارهایی دقیق‌تر از ابزارهای روزمره آغاز می‌کنیم.

هدف آزمایش:

آشنایی با اصول درجه‌بندی ورنیه و چگونگی به‌کارگیری کولیس و ریزسنج، اندازه‌گیری کمیت طول با این ابزارها، اندازه‌گیری تقعر و اندازه‌گیری جرم با ترازو.

۱-۱- ورنیه

ورنیه به ما در خواندن دقیق‌تر طول تا کسری از درجه‌بندی ابزار اندازه‌گیری کمک می‌کند. اصول این درجه‌بندی توسط شخصی به نام ورنیه ابداع شد. درجه‌بندی ورنیه یک درجه‌بندی کمکی است که می‌تواند در مقابل مقیاس اصلی و ثابت وسیله‌ی اندازه‌گیری جابجا شود.

درجه‌بندی ورنیه از نقطه نظر اندازه با درجه‌بندی مقیاس ثابت متفاوت است. بدین ترتیب که n درجه ورنیه مساوی با (n-۱) درجه مقیاس ثابت است برای مثال اگر طول یک درجه ورنیه را با x و طول یک درجه خط‌کش ثابت را با Y نمایش دهیم خواهیم‌داشت:

$$nX = (n-1)Y \rightarrow X = \frac{n-1}{n}Y \qquad (۱-۱)$$

n عددی صحیح است که دقت دستگاه را تعیین می‌کند. کوچک‌ترین مقداری که توسط درجه‌بندی ورنیه خوانده می‌شود کم‌ترین شمارش نام دارد و برابر است با تفاضل بین یک درجه خط‌کش ثابت و یک درجه ورنیه یعنی:

$$Y - X = Y - \frac{n-1}{n}Y = \frac{1}{n}Y \qquad \text{کم‌ترین شمارش} \qquad (۱-۲)$$

برای مثال یک ورنیه دارای ۱۰ درجه است به‌طوری که طول آن مطابق با ۹ درجه خط‌کش ثابت است. بنابراین هر درجه ورنیه به اندازه $\frac{1}{10}$ از درجه‌کش ثابت کوچک‌تر است.

اکنون با فرض آنکه صفر ورنیه روبروی صفر خط‌کش ثابت قرارداشته باشد نخستین شماره ورنیه از نخستین شماره خط‌کش ثابت به اندازه $\frac{1}{10}$ درجه، عقب است. در این حالت دومین شماره ورنیه به‌اندازه $\frac{2}{10}$ از دومین شماره خط‌کش ثابت و آخرین شماره ورنیه با اندازه $\frac{10}{10}$ یا یک درجه از شماره خط‌کش ثابت فاصله گرفته است. بنابراین آخرین یا دهمین شماره ورنیه روبروی نهمین شماره خط‌کش ثابت واقع شده است.

حال اگر ورنیه به‌طرف راست حرکت داده شود تا این‌که ششمین درجه آن با ششمین درجه خط‌کش ثابت روبرو شود میزان جابجایی برابر $\frac{6}{10}$ یا $6\times\frac{1}{10}$ درجه اصلی خواهد بود.

هرگاه جابجایی ورنیه بیش از چند درجه خط‌کش ثابت باشد، باز نحوه عمل با اندکی دقت به‌همان صورت خواهد بود. برای مثال صفر ورنیه به اندازه ۲ درجه خط‌کش ثابت و کسری از آن حرکت کرده است که با توجه به درجه منطبق شده ورنیه (درجه ششم) میزان جابجایی برابر مقدار زیرخواهد بود.

۲+۰/٦= ۲/٦ درجه اصلی

مقدار عدد n در تجهیزات مختلف، متفاوت است. در هر حال اصول کلی ورنیه‌ها یکی است و کسی که اصول کار ورنیه را فرا گرفته باشد به‌آسانی می‌تواند از تجهیزات مختلف استفاده نماید. در هنگام استفاده از وسیله‌ای که دارای ورنیه است نخست باید کم‌ترین شمارش آ ن را مشخص کرد. بعد برای اندازه‌گیری جابجایی باید ابتدا تعداد درجات خط‌کش ثابت را که قبل از صفر ورنیه قراردارند خواند. سپس درجه‌ای از ورنیه که روبروی یکی از درجات خط‌کش ثابت قرار گرفته معین نموده و در پایان باید حاصلضرب کم‌ترین شمارش در عدد خوانده شده ورنیه را بدست‌آورد و با عدد خوانده شده خط‌کش ثابت جمع کرد.

آشنایی با ورنیه

ورنیه $\frac{1}{n}$: اگر (n–۱) قسمت از خط‌کش اصلی را به n قسمت مساوی تقسیم کنیم هر درجه خط‌کش اصلی به اندازه $\frac{1}{n}$ درجه خط‌کش اصلی از هر تقسیم درجه ورنیه بیشتر خواهد بود. در حالت کلی اگر هر قسمت از ورنیه را (V) و هر قسمت (نه هر درجه) از خط‌کش اصلی را (S) بنامیم داریم:

$$S = v + \frac{s}{n} \qquad (۱-۳)$$

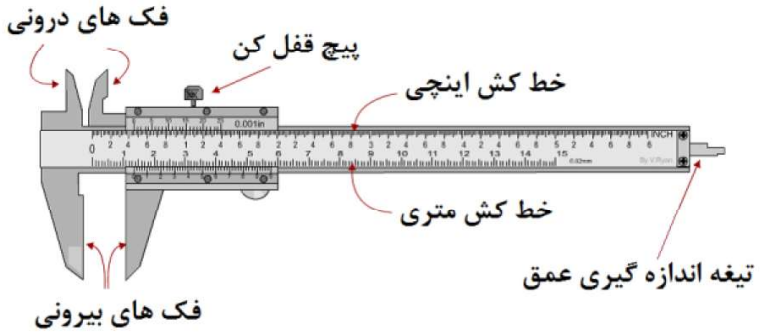
$$nv = (n-1)s \rightarrow \frac{s}{n} = s - v \qquad (۱-٤)$$

پس با استفاده از فرمول (۱-٤) اختلاف بین هر قسمت خط‌کش اصلی و هر درجه ورنیه $(\frac{s}{n})$ را تقریب ورنیه می‌گویند. اگر هر قسمت خط‌کش اصلی، که بر مبنای آن ورنیه تقسیم‌بندی شده، برابر با هر درجه خط‌کش اصلی باشد S=۱ خواهد بود. اگر در هر ورنیه تقریب $\frac{1}{n}$ به‌کار رفته باشد، بیشترین خطا، مساوی $\frac{1}{n}$ خواهد بود.

۱-۲-کولیس

کولیس وسیله اندازه‌گیری طول است که دقیق‌تر از خط‌کش معمولی می‌باشد. دقت کولیس به چگونگی درجه‌بندی روی ورنیه بستگی دارد. کولیس از یک خط‌کش ثابت معمولی (مدرج بر حسب سانتی‌متر و میلی‌متر) و یک قسمت

متحرک (ورنیه) ساخته شده است. این وسیله (شکل ۱-۱) دارای سه دهانه برای اندازه‌گیری می‌باشد که عبارتند از:
۱- دهانه بزرگ برای اندازه‌گیری ضخامت و قطرهای خارجی.
۲- دهانه مربوط به اندازه‌گیری قطر داخلی و داخل شیارها.
۳- قسمت عمق‌سنج که برای درون سوراخ و اندازه‌گیری عمق بکار می‌رود.



قطعات تشکیل دهنده کولیس

شکل ۱-۱: نمایی از ورنیه

دستور کلی نحوه خواندن ورنیه:
۱- ابتدا تقریب ورنیه را معلوم کنید برای این منظور کوچک‌ترین تقسیم خط‌کش اصلی را بر تعداد تقسیمات ورنیه تقسیم کنید.($\frac{S}{n}$)
۲- شماره خطی از ورنیه را که مقابل خطی از تقسیمات خط‌کش اصلی است تعیین نموده آن را در تقریب ورنیه ضرب نمایید.
۳- حاصلضرب را به آنچه به‌طور مستقیم روی خط‌کش اصلی تا صفر ورنیه خوانده‌اید اضافه کنید.

ورنیه سنجش زاویه: این نوع ورنیه نیز مانند ورنیه سنجش طول است با این تفاوت که در این نوع ورنیه‌ها اساس تقسیم اعشاری نبوده و بر مبنای ضریب تبدیل ۶۰ است. مثلا در ورنیه‌هایی که ۲۹ درجه از تقسیم‌بندی دایره اصلی به ۳۰ قسمت، تقسیم شده است. تقریب ورنیه $\frac{1}{30}$ و دقت زاویه تا $\frac{1}{30}$ درجه یا ۲ دقیقه است.

مثال: چهار قسمت خط‌کش اصلی مساوی پنج قسمت از ورنیه است. هر قسمت خط‌کش اصلی برابر نیم درجه (واحد) خط‌کش اصلی است. پس تقریب ورنیه عبارتست از:

تقریب ورنیه $= \frac{S}{n} = \frac{0.5}{5} = 0.1$ واحد

حال اگر صفر ورنیه بیشتر از پنجمین قسمت است و سومین نشانه ورنیه منطبق بر یکی از درجات خط‌کش اصلی باشد آنگاه:

$L = 5\ (0.5\ \text{واحد}) + 3\ (0.1) = 2.5 + 0.3$

$L = 2.8$ واحد

۱-۳- ریزسنج

ریزسنج (میکرومتر) وسیله‌ای است که دقیق‌تر از کولیس بوده وبه‌طور معمول برای دقت‌های بالا بکار می‌رود. این وسیله از یک استوانه ثابت مدرج و یک استوانه‌ی متحرک مدرج که می‌تواند روی استوانه ثابت مدرج بچرخد و جابجا شود و یک کمان فلزی متصل به استوانه ثابت تشکیل شده است. گام ریزسنج عبارت است از جابجایی استوانه‌ی متحرک در طول استوانه ثابت به‌ازای هر دور چرخش که به نحوه‌ی طراحی و دقت دستگاه بستگی دارد. گام ریزسنج می‌تواند ۱ میلی‌متر یا ۰/۵ میلی‌متر باشد. هرگاه استوانه متحرک به ۵۰ قسمت تقسیم شده باشد با چرخاندن استوانه متحرک به اندازه دو دور کامل دهانه یک میلی‌متر جابجا می‌شود (گام ۰/۵ میلی‌متر) و در نتیجه ۱۰۰ قسمت از استوانه متحرک معادل ۱ میلی‌متر از استوانه ثابت (خط‌کش ثابت) می‌باشد. بنابراین دقت دستگاه ۰/۰۱ میلی‌متر است.

فرض کنید دهانه ریزسنج پس از چندین دور چرخش مقداری باز شده است، حال برای خواندن این مقدار تعداد میلی‌مترها را می‌توان از روی استوانه ثابت خواند و با کسری از میلی‌متر که بر روی استوانه متحرک خوانده می‌شود جمع کرد و مقدار جابجایی را اندازه‌گیری نمود. برای مثال اگر استوانه متحرک به‌اندازه ۵ دور کامل و کسری از دور چرخیده شود و گام ریزسنج برابر با ۰/۵ میلی‌متر باشد، خواندن این عدد چنین است، ۵ دور معادل ۲/۵۰ میلی‌متر می‌باشد و فرض کنید عددی که روی استوانه متحرک خوانده می‌شود ۳۵ است پس اندازه‌گیری مورد نظر ۲/۸۵ mm =۰/۳۵ + ۲/۵۰ خواهد بود. شکل (۲-۱) نمایی از ریزسنج می‌باشد.

شکل ۲-۱: ریزسنج

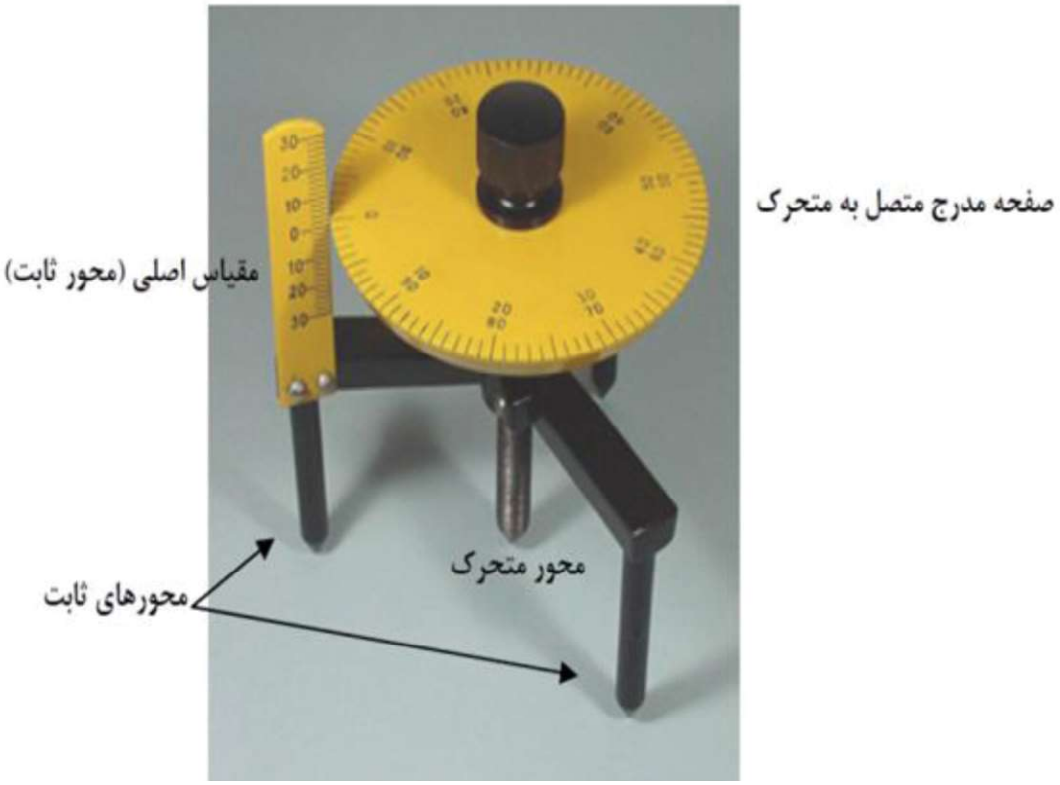
۱-٤-تقعرسنج

تقعرسنج وسیله‌ای است که برای اندازه‌گیری دقیق تقعر یا تحدب سطوح کروی شعاع کره و یا ضخامت، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ابزار از یک سه‌پایه ثابت، یک محور مرکزی متحرک و یک خط‌کش عمودی ثابت ساخته شده است. نحوه کار محور متحرک مانند ریزسنج است. محور متحرک روی مهره اصلی که روی صفحه ثابت قرار دارد چرخیده و هر گام آن (دور کامل) برابر ۱ میلی‌متر محور را جابجا می‌کند. یک صفحه که تا ۵۰ درجه‌بندی شده همراه محور چرخیده و مقدار دقیق جابجایی را نشان می‌دهد. به‌ازای یک گام محور صفحه مدرج به اندازه یک دور خط‌کش عمودی جابجا می‌شود. در این صورت عدد روی خط‌کش اصلی تعداد دور کامل و عدد روی صفحه مدرج بقیه مقدار چرخش را نشان می‌دهد. در صورتی که تعداد درجه‌بندی روی صفحه ۵۰ و هرگام محور ۰/۵ میلی‌متر باشد در این صورت کم‌ترین مقدار قابل اندازه‌گیری ۰/۰۱ میلی‌متر خواهد بود. برای اندازه‌گیری، ضخامت جسم مورد نظر را روی صفحه صاف و افقی قرار داده به‌طوری که سه پایه ثابت تقعرسنج نیز بر صفحه

افقی مماس باشد. در این حالت انتهای محور متحرک را طوری تنظیم می‌کنیم که بر سطح جسم مورد نظر مماس شود. عددی که روی تقعرسنج خوانده می‌شود ضخامت جسم مورد نظر را بدست می‌دهد. شکل (۳) ساختار یک تقعرسنج را نشان می‌دهد. برای اندازه‌گیری تقعر یا تحدب سه‌پایه ثابت تقعرسنج را روی جسم کروی قرار می‌دهیم با چرخاندن محور متحرک، انتهای آن را بر سطح مورد نظر مماس می‌کنیم. در این وضعیت تقعرسنج فاصله پایین‌ترین یا بالاترین نقطه سطح کروی مورد نظر را از صفحه سه‌پایه ثابت نشان می‌دهد. می‌توان نشان داد که شعاع سطح کروی مورد نظر (شعاع کره‌ای که سطح مورد نظر بخشی از آن است)عبارت است از:

$$R = \frac{r^2 + h^2}{2h} \qquad (۱-۵)$$

که در رابطه (۵-۱) ، h مقدارخوانده شده از تقعرسنج و r فاصله محور متحرک و پایه‌های ثابت است.



شکل ۳-۱: تقعرسنج

آزمایش شماره ۲ : تحقیق اصول دینامیک با استفاده از ماشین آتود

مقدمه

پایه مکانیک کلاسیک را قوانینی تشکیل می‌دهند که به قوانین نیوتون معروف هستند و توسط این دانشمند در قرن هفده تحقیق و تدوین شده‌اند و تا وقتی با سرعت‌های خیلی زیاد و یا با ذرات بنیادی (الکترون و پروتون ...) سر و کار داشته باشیم خواص حرکات کلیه ذرات میکروسکوپیک و ماکروسکوپیک طبیعت با قوانین نیوتون توجیه می‌شود.

ماشین آتوود ساده

ماشین آتوود ساده از دو وزنه به جرم‌های m_2 و m_1 که به‌وسیله یک رشته غیرقابل ارتجاع به طول L که از روی قرقره عبور کرده است و به یکدیگر متصل هستند، تشکیل شده‌است. این سیستم فقط دارای یک درجه آزادی است، یعنی چون فقط یک قرقره وجود دارد، از این‌رو اگر مبدا مختصات را در نقطه آویز قرقره فرض کنیم، در این صورت حرکت هر دو وزنه را می‌توان با یک پارامتر مشخص نمود. همچنین چون تنها نیروی وارده، نیروی گرانشی ناشی از وزن دو وزنه است، بنابراین به دلیل پایستار بودن نیروی گرانشی حرکت پایا خواهد بود و به‌راحتی می‌توان از قانون بقا انرژی استفاده کرد. به‌این ترتیب شتاب حرکت سیستم با فرض این‌که درجه آزادی را با متغیر X نشان دهیم به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = g\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2 + 1/a^2}$$

درعبارت فوق a شعاع قرقره است. به وضوح ملاحظه می‌شود که اگر $m_1 > m_2$ باشد، m_1 با شتاب ثابت سقوط خواهدکرد و اگر $m_2 > m_1$ باشد m_1 با شتاب ثابت صعود خواهد نمود.

کاربرد ماشین آتوود

یکی از بارزترین کاربردهای ماشین آتوود در قرقره‌هایی است که به‌منظور بالا بردن وسایل سنگین به

طبقات بالاتر ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر شخصی که از این وسایل استفاده می‌کند، به اصول مکانیکی این وسایل آشنا باشد می‌تواند به‌راحتی و با اعمال نیروی اندک وسایل خیلی سنگین را تا ارتفاع زیاد بالا برد.

قانون اول نیوتون (قانون لختی یا اصل ماند): جسمی که تحت تاثیر نیروی خارجی واقع نباشد، حالت سکون یا حرکت مستقیم‌الخط یکنواخت خود را حفظ می‌کند.

قانون دوم نیوتون (اصل اساسی دینامیک): هرگاه بر نقطه‌ای مادی به جرم m نیروی خالص f وارد شود. این نقطه شتابی می‌گیرد که از رابطه $\vec{a}=\frac{\vec{F}}{m}$ بدست‌می‌آید.

$\vec{f} \propto \vec{a} \rightarrow \sum \vec{f} = m\vec{a}$, $f=ma$ $\rightarrow a=f/m$

هدف آزمایش:

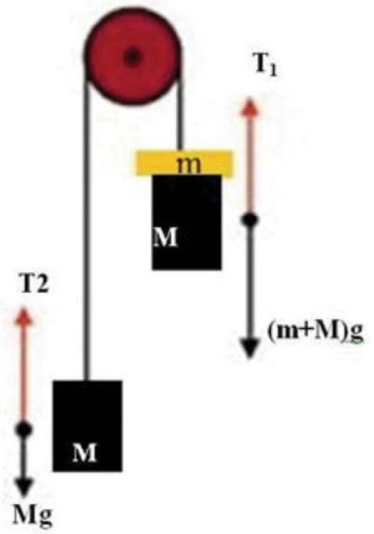
تحقیق اصول دینامیک در حرکت یک بعدی به کمک ماشین آتوود

وسایل آزمایش:

ماشین آتوود، وزنه‌های مختلف و سربار، صفحه مانع، صفحه حذف‌کننده سربار (سربار گیر)-کورنومتر

تئوری آزمایش:

ماشین آتوود دستگاهی است که از دو جرم نامساوی M و M+m که توسط نخی سبک به‌هم وصل شده و از روی قرقرهای بی‌وزن و بدون اصطکاک (که به آسانی حول محورش می‌تواند بچرخد) می‌گذرد تشکیل شده‌است. در شکل (۱-۲) ماشین آتود و نمودار جسم آزاد برای جرم‌های M و M+m در دو طرف آن نشان داده شده است (T کشش نخ است).



شکل ۱-۲: ماشین آتود

چنانچه دستگاه از حالت سکون رها شود، وزنه‌ها با شتاب ثابت در امتداد خط راست شروع به حرکت خواهند کرد. با توجه به نمودار جسم آزاد و بکارگیری قانون دوم نیوتون داریم:

(الف) برای M $\rightarrow \sum F = Ma \rightarrow F = Ma \rightarrow T_2 - Mg = Ma$

(ب) برای M+m $\rightarrow \sum F = (M+m)a \rightarrow T_1 - (M+m)g = -(M+m)a$

بدیهی است که چنانچه وزنه‌ها در طرفین دستگاه یکسان m=0 باشد، (a=0) بوده و دستگاه ساکن و یا دارای حرکت یکنواخت خواهد بود (اصل ماند).

اگر جسمی که بر روی یک خط مستقیم حرکت می‌کند در لحظه t_0 در موقعیت x_0 (نسبت به مبدا اختیار شده) باشد و در لحظه t در موقعیت x قرارگیرد $x-x_0$ خواهد بود. حال سرعت متوسط ($\bar{v}$) سرعت لحظه‌ای (v) جسم به ترتیب به‌صورت:

$$\bar{v} = \frac{x - x_0}{t - t_0} \qquad (۲-۱)$$

$$v_0 = \lim_{t \to t_0} \frac{x - x_0}{t - t_0} = \frac{dx}{dt} \qquad (۲-۲)$$

تعریف می‌شوند.

اگر آهنگ در یک بازهٔ زمانی($\bar{v}$)در هر لحظه (v) ثابت باشد در حالت داریم:

$$x(t) = x_0 + Vt \qquad (۲-۳)$$

از این‌رو در این حرکت که سرعت ثابت یا یکنواخت نامیده می‌شود، مکان (موقعیت) جسم به‌صورت خطی با زمان تغییر می‌کند.شتاب نیز آهنگ تغییر سرعت با زمان تعریف می‌شود. اگر سرعت جسم در لحظه t_0 برابر v_0 و در لحظه t برابر v باشد، شتاب متوسط ($\bar{a}$) و شتاب لحظه ای (a) جسم به ترتیب به صورت

$$\bar{a} = \frac{v - v_0}{t - t_0} \qquad (۲-٤)$$

$$a = \lim_{t \to t_0} \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{dv}{dt} \qquad (۲-۵)$$

تعریف می‌شوند.

اگر شتاب جسم ثابت باشد در حالت $t_0 = 0$ برای سرعت لحظه‌ای جسم می‌توان نوشت:

$$V(t) = at + v_0 \qquad (۲-٦)$$

یعنی سرعت لحظه‌ای در حرکت شتاب ثابت تابعی خطی از زمان است.

از این رابطه با توجه به تعریف سرعت می‌توان تابعیت مکان (موقعیت) جسم را با زمان به‌صورت زیر به‌دست آورد:

$$x(t) = x_0 + V_0 t + 1/2\, at^2 \qquad (۲-۷)$$

و اگر در مبدا زمان و در مبدا مکان بوده و ساکن باشد داریم:

$$x = \frac{1}{2}at^2 \rightarrow \alpha = \frac{2x}{t^2} = cte \qquad (۲-۸)$$

از آنجایی‌که نمی‌توان از نیروی اصطکاک چشم پوشی کرد بنابراین بایستی به طریقی اثر آن را در محاسبات منظور نمود. بدین منظور ابتدا وزنه‌ی m را برای خنثی کردن اثر اصطکاک به‌طرف راست می‌افزاییم تا حرکت یکنواخت ایجاد شود(شکل ۱). در این حالت شتاب صفر وحرکت وزنه‌ی طرف راست به سمت پایین می‌باشد و جهت مثبت محور را به‌طرف بالا و مثبت در نظر می‌گیریم و خواهیم داشت:

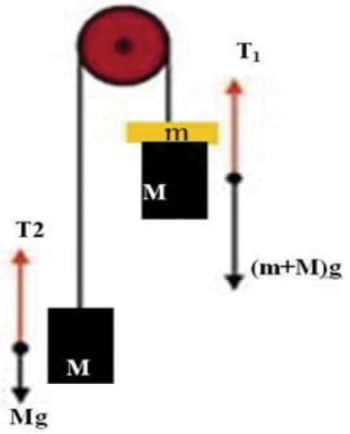
$$(M+m)g - T_1 = (M+m)a_1 \quad \text{طرف راست} \qquad (۲-۹)$$

$$T_2 - Mg = Ma_2 \quad \text{طرف چپ} \qquad (۲-۱۰)$$

می‌دانیم $a = a_2 = a_1$ و $t_1 = t_2$ از جمع رابطه(۹-۲)و (۱۰-۲) خواهیم داشت:

$$mg = (2M+m)a$$

$$a = \frac{mg}{2M+m} \qquad (۲-۱۱)$$



شکل۲-۳: ماشین آتود

آزمایش (الف) تحقیق اصل ماند:

دستگاه را با دو وزنه مساوی (M) و سربار(m) که نتواند از حلقه صفحه حذف‌کننده سربار عبور کند، به‌کار اندازید پس از حذف سربار توسط صفحه مذکور (چنانچه از نیروی اصطکاک در محور قرقره صرف نظر شود) چون برآیند نیروهای وارد بر دستگاه صفر است حرکت وزنه‌ها یکنواخت خواهد شد. با کشیدن ضامن، دستگاه را از مبدا به‌کار اندازید. وزنه‌ها با سرعت مشخصی به حلقه حذف‌کننده سربار می‌رسند و پس از حذف سربار توسط حلقه، حرکت وزنه‌ها باید به‌صورت یکنواخت انجام پذیرد.

صفحه مانع را در فاصله مشخصی از صفحه سربارگیر قرار داده و زمان حرکت (t) وزنه را در حد فاصل بین حلقه سربارگیر (x_0) و صفحه مانع (x) با استفاده از کرنومتر اندازه‌گیری کنید. با انجام آزمایش برای فاصله‌های مختلف

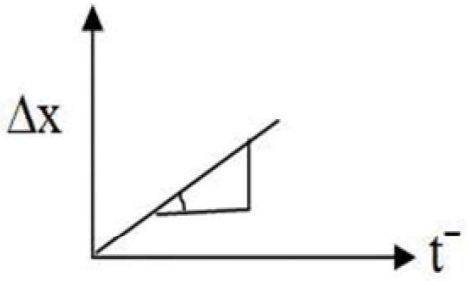
و تکرار آزمایش برای هر مرحله:

۱- جدول (۱-۲) را پر کنید با استفاده از جدول (۱-۲)، v میانگین را محاسبه کنید.

X_0	(x)	t_1	t_2	$(\bar{t})$	$\Delta x = x - x_0$	$V = \frac{\Delta x}{\bar{t}}$
20	24					
20	26					
20	28					
20	30					

جدول ۱-۲

۲- نمودار تغییرات (ΔX) را برحسب ($\bar{t}$) رسم کرده و با محاسبه تانژانت زاویه‌ای دلخواه درستی اصل ماند را تحقیق کنید. (رسم شکل ۳-۲)



شکل۳-۲: نمودار تغییرات (ΔX) را برحسب ($\bar{t}$)

آزمایش (ب) بررسی حرکت مستقیم‌الخط با شتاب ثابت

به دو طرف دستگاه وزنه‌های یکسان (M) آویزان کرده و سپس یک وزنه اضافی (m) که به اصطلاح سربار گفته می‌شود به یک طرف اضافه کنید. صفحه مجهز به ضامن را در محل مبدا حرکت، روی سکوی مدرج و صفحه مانع را در فاصله معین از آن (x) قرار دهید. با کشیدن ضامن، دستگاه در جهت وزنه بزرگ‌تر (دارای سربار) از مبدا

شروع به حرکت می‌کند و پس از پیمودن فاصله x به مانع می‌رسد. به‌محض شروع حرکت کرنومتر را بکار اندازید و پس از برخورد وزنه به صفحه مانع آن‌را از متوقف کنید و بدین‌وسیله زمان حرکت (t) یعنی زمان پیمایش بین ضامن و صفحه مانع حرکت وزنه‌ها را مشخص کنید.

t_1 ،t_2 ،t_3 را برای هر مرحله به‌دست آورده و میانگین آن‌را حساب کنید. مقدار شتاب حاصل از این آزمایش را با مقدار بدست آمده از رابطه $a=\frac{mg}{2M+m}$ مقایسه کنید.

علت تفاوت در مقدار شتاب بدست آمده از طریق آزمایش و محاسبه نظری در چیست؟ توضیح دهید.

فاصله (x)	t_1	t_2	t_3	$\bar{t}=\frac{t_1+t_2+t_3}{3}$	$(\bar{t})^2$	$\bar{a}$
20						
22						
24						
26						

جدول ۲-۲

جدول (۲-۲) را کامل نموده و نمودار تغییرات 2x برحسب $(\bar{t})^2$ را رسم کنید. با استفاده از این نمودار مقدار شتاب را نیز محاسبه کنید.

با استفاده از جدول (۲-۲)، a میانگین را محاسبه کنید.

آزمایش شماره ۳: اصطکاک در آستانه حرکت

وقتی صحبت از اصطکاک وتعریف آن می‌شود معمولا به‌جای تعریف اصطکاک تعریف نیروی اصطکاک لحاظ می‌شود.

تئوری آزمایش

تعریف اصطکاک: سطح جسم جامد حتی اگر به‌خوبی صیقلی شده باشد، کاملا صاف نبوده و دارای برجستگی‌ها، فرورفتگی‌ها، ترک‌ها و سایر بی‌نظمی‌های میکروسکوپی می‌باشد. این سطوح بیشتر از اکسیدهای چسبنده‌ای از گازها و مایعات ومواد خارجی پوشیده شده‌اند.

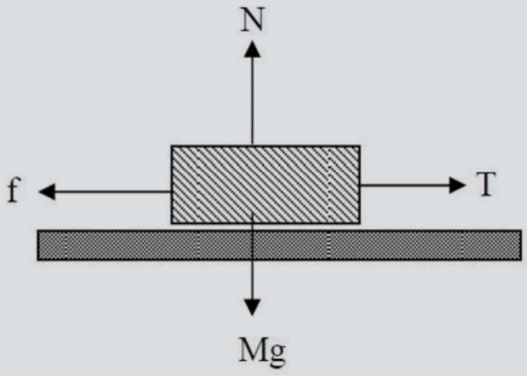
وقتی سطوح دو جسم باهم تماس حاصل می‌کنند و درهم رفتن برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌های میکروسکوپی و همچنین چسبندگی نسبی سطوح موجب نوعی درگیری بین سطوح می‌شود این نوع تماس اصطکاک نام دارد. این درگیری مانع حرکت نسبی اجسام می‌شود. طبیعی است بین دو سطح بدون اصطکاک چنین درگیری وجود ندارد. بنابراین می‌توان گفت که اصطکاک نوعی کیفیت تماس یا درگیر شدن دو سطح است.

تعریف نیروی اصطکاک: اصطکاک نیروی مقاومتی است که در برابر حرکت اجسام به‌وجود می‌آید. این نیرو همواره در خلاف جهت حرکت ایجاد شده‌است و با حرکت اجسام مخالفت می‌کند. برای ایجاد حرکت در اجسام باید نیرویی بزرگ‌تر از نیروی اصطکاک در جهت حرکت اعمال کرد. نیروی اصطکاک به‌عواملی چون نیروی عمودی و شرایط سطح‌های تماس ازنظر زبری و جنس سطح‌های تماس بستگی دارد و در صورتی که تغییرات دما به‌گونه‌ای باشد که موجب تغییر زبری سطح تماس شود، در افزایش اصطکاک موثراست. در شکل (۱)، N نیروی عمودی تکیه‌گاه وμ ضریب اصطکاک است. Mg وزن و f نیروی اصطکاک می‌باشد. ضریب اصطکاک می‌تواند بیشتر از ۱ هم باشد ولی بیشتر اوقات μ<۱ می‌باشد.

چون جسم در امتداد عمودی شتابی ندارد N=mg خواهد بود. اگر T به‌گونه‌ای باشد که جسم حرکت بدون شتاب، یعنی با سرعت ثابت انجام دهد، در این صورت T=F خواهد بود و از این‌رو می‌توان با اندازه‌گیری نیرویی که در حرکت بدون شتاب به جسم وارد می‌شود، مقدار نیروی اصطکاک جنبشی را اندازه گرفت. درگیری بین سطوح در اثر ازدیاد نیروی عمودی N که اجسام را به یکدیگر می‌فشارد، زیاد می‌شود، نیروی عمودی ممکن است

نیروی وزن و یا مولفه‌ی قائم آن (اگرجسم روی سطح شیبدار باشد) و یا هر نیروی دیگر عمود برسطح تماس دوجسم باشد. واضح است برای رفع درگیری بین دو جسم و در نتیجه حرکت نسبی یکنواخت یکی از دو جسم به نیروی کششی متناسب با N نیاز است. این نیروی کشش را نیروی اصطکاک ایستایی گویند. اعمال این نیرو به جسم باعث می‌شود تا جسم از حالت سکون شروع به حرکت نماید. طبیعی است پس از به حرکت درآمدن جسم برای تداوم حرکت یکنواخت جسم، به نیروی کمتری نیاز داریم که نیروی اصطکاک جنبشی نام دارد. به‌همین دلیل همواره نیروی اصطکاک ایستایی از نیروی اصطکاک جنبشی بیشتر است.

اگر به جسم نیروی کششی وارد شود ولی جسم در حال سکون باشد و حرکتی را آغاز نکرده باشد، نیروی اصطکاک آن را ایستایی می‌نامند. در این حالت نیروی اصطکاک ایستایی، تابع T است و با بزرگ شدن T افزایش می‌یابد و به‌تدریج به مقدار بیشینه خود که با $f_{s\,max}$ نشان می‌دهند، می‌رسد. در این حالت افزایش بیشتر T موجب خواهد شد که جسم از حال سکون خارج شده و حرکت کند. آزمایش نشان می‌دهد که همیشه f_k کوچک‌تر از، بیشترین نیروی اصطکاک ایستایی، است.



شکل ۱-۳

عوامل موثر بر نیروی اصطکاک:

۱- نیروی عمودی وارد برسطح تماس

۲- ضریب اصطکاک

نیروی اصطکاک به سطح تماس جسم بستگی چندانی ندارد.

اصطکاک در آستانه حرکت یا اصطکاک جنبشی و اصطکاک ایستایی($\mu_s = \frac{f_s}{N}, \mu_k = \frac{f_k}{N}$)است که μ_s ضریب اصطکاک ایستایی و μ_k ضریب اصطکاک جنبشی در آستانه حرکت هستند که $\mu_s > \mu_k$ می‌باشد.

تعریف ضریب اصطکاک: نسبت نیروی اصطکاک بر نیروی عمود بر سطح را ضریب اصطکاک گویند.

$$f_k \propto N$$
$$f_k \propto \mu \qquad \rightarrow \mu = \frac{f_k}{N}$$
$$f_k \propto \mu N$$

هدف آزمایش

اندازه گیری ضریب اصطکاک جنبشی در آستانه حرکت برای سطوح مختلف درحالت افقی و شیب‌دار

وسایل مورد نیاز

سطح شیب‌دار، ترازو و جعبه سنگ، مکعب مستطیل چوبی، تراز بنائی، کفه، نخ قرقره، وزنه‌های ۵۰ گرمی

روش انجام آزمایش

۱- حالت افقی: در کناره میز به‌طوری‌که قرقره سطح شیب‌دار از لبه میز خارج باشد سطح شیب‌دار را به کمک پیچ‌های زیر آن وتراز بنائی کاملا به‌حالت افقی درآورید (در هر دو جهت). مکعب مستطیل چوبی را که یک طرف آن ماهوت دارد، یک بار از طرف سطح چوبی بر روی سطح افقی قرارداده و نخ متصل به آن را از روی قرقره عبور داده و به آن کفه را بیاویزید. ممکن است وزن کفه بیش از نیروی لازم برای به حرکت درآوردن یکنواخت مکعب چوبی باشد بنابراین برروی مکعب از جعبه سنگ آنقدر وزنه بگذارید تا مکعب چوبی با اندک ضربه انگشت که به سطح افقی می‌زنید شروع به حرکت یکنواخت نماید. در این حالت اگر از اصطکاک قرقره و نخ صرف‌نظر نماییم، نیروی کشش همان نیروی اصطکاک جنبشی است که برابر با وزن کفه می‌باشد و نیروی عمود بر سطح برابر با وزن مکعب چوبی و وزنه‌های روی آن است.

حال بر روی مکعب چوبی، وزنه ۵۰گرمی قرار دهید و داخل کفه آنقدر وزنه بگذارید تا مانند حالت قبل با اندک ضربه انگشت حرکت یکنواخت برقرار شود. آزمایش را حداقل برای سه مقدار تکرار نموده و جدول (۱-۳) را تکمیل نمایید. آزمایش را برای طرف ماهوتی مکعب چوبی تکرار کنید، از انجام این دو آزمایش چه نتایج مهمی حاصل می‌شود؟ مقادیر N و f_k را روی محور عمودی و افقی برده و نمودار f_k را بر حسب N رسم نمایید سپس با در نظر گرفتن بازه‌ای دلخواه ضریب اصطکاک جنبشی را از طریق تانژانت زاویه محاسبه نمایید. آیا این خط از مبدأ مختصات می‌گذرد؟

جرم وزنه‌های روی مکعب (m)	f_k (وزن کفه و وزنه‌ها)	N (وزن مکعب و وزنه‌ها)	$\mu = \frac{f_k}{N}$
100			
150			
200			

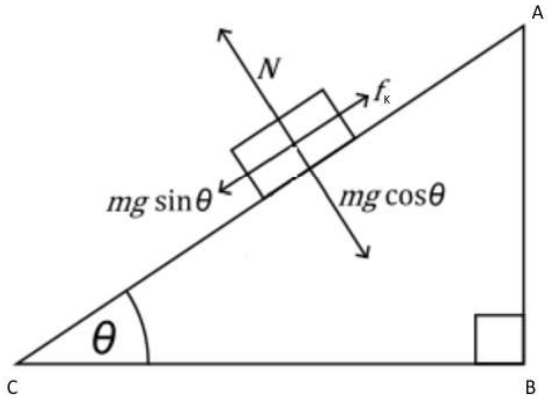
جدول ۱-۳

۲- حالت شیب‌دار: جسم را روی سطح شیب‌دار گذاشته رفته رفته شیب آن را زیاد می‌کنیم و هم‌زمان، با انگشت ضربات آهسته‌ای بر روی سطح می‌زنیم تا مکعب چوبی با سرعت و آهسته به سمت پایین سطح شیب‌دار شروع به حرکت نماید در این‌جا به وسیله‌ی پیچ زیرسطح شیب‌دار، آن را ثابت می‌کنیم (مطابق شکل ۲-۳).
می‌دانیم نیروی وزن به دو مولفه تجزیه می‌شود. $mg\cos\theta$ که عمود بر سطح تماس و $mg\sin\theta$ که در امتداد سطح دو جسم است، چون $mg\sin\theta$ باعث حرکت یکنواخت جسم شده است، بنابراین برابر با f_k، نیروی اصطکاک است. ضریب اصطکاک به θ بستگی دارد؟ به وزن جسم چطور؟

$$\mu_k = \frac{\Delta f_k}{\Delta N} = \frac{mg\sin\theta}{mg\cos\theta} = \tan\theta \qquad (۱-٤)$$

$$\tan\theta = \frac{AB}{BC} = \mu_k$$

دراین حالت را با درحالت افقی مقایسه کنید و نظرتان را بنویسید.



شکل۲-۳

اگر دراین حالت روی مکعب چوبی وزنه سنگینی قراردهیم آیا باز هم با سرعت یکنواخت پایین می‌آید؟ این حالت را آزمایش کنید و مشاهداتتان را بنویسید.

آزمایش شماره ۴: حرکت نوسانی فنر

مقدمه

یک جسم کشسان به جسمی گفته می‌شود که با برداشتن نیروی خارجی اندازه و شکل اولیه خود را بازیابد. هنگامی که یک نیروی خارجی به جسمی اعمال شود، قسمت‌های مختلف جسم، جابجایی نسبی نسبت به وضعیت اصلی خود دارند. ذرات جابه‌جا شده سعی دارند که به موقعیت اولیه خود بازگردند و جسم را به اندازه و شکل اولیه خود بازگردانند و بنابراین یک نیروی بازگرداننده R اعمال می‌کنند (نیروی بازگرداننده اعمال شده بر واحد سطح از طرف ذرات داخلی یک جسم، تنش یا استرس نامیده می‌شود). مقدار نیروی R برابر با نیروی اعمال شده F و در جهت مخالف آن است. نخستین بار رابرت‌هوک دریافت که نیروی اعمال شده به یک فنر سبب افزایش طولی به اندازه X در فنر می‌شود که به‌طور مستقیم به مقدار نیروی F اعمال شده بستگی دارد. بنابراین قانون هوک (حالت ایستایی) به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$F = k\Delta x \qquad (۴-۱)$$

که در آن K ثابت تناسب است و به نوع (جنس) ماده بستگی دارد و به ثابت فنر معروف است.

اگر جسمی به جرم m را به فنر وصل کرده باشیم و جابجایی X فنر، نسبت به وضعیت تعادلش، فقط در اثر نیروی وزن این جرم باشد (و غیر از این نیرو نیروی دیگری باعث کشیدگی فنر نشود) در این صورت:

F=mg و طبق قانون هوک F=kx بنابراین خواهیم داشت:

$$mg = kx \rightarrow m = \frac{kx}{g} \qquad (۴-۲)$$

البته قانون هوک فقط محدود به فنر مارپیچ نیست بلکه در مورد هر جسم یا محیط کشسانی کاربرد دارد.

افزایش طول یک فنر متناسب با نیروی به‌کار رفته‌است تا زمانی‌که این نیرو از حد معینی تجاوز نکند. با برداشتن نیروی اعمال شده از روی فنر، فنر حالت اولیه خود را باز می‌یابد (یعنی از قانون هوک پیروی می‌کند) به این نیرو که پس از حذف آن فنر اندازه اولیه خود را باز می‌یابد «حد کشسانی» می‌گویند. وقتی که نیرو، بیشتر از حالت کشسانی شود با برداشتن نیرو، فنر دیگر نمی‌تواند اندازه و شکل اولیه خود را باز یابد، بلکه افزایش طول دایمی است و نمودار تغییر نیرو برحسب تغییر طول فنر به شکل منحنی خواهد بود و در این حالت جسم را پلاستیک گویند اگر نیروی اعمال شده از این حد هم تجاوز کند؛ حالت خمیری به وجود می‌آید که جسم مثل خمیر کشیده و سپس پاره می‌شود.

هدف آزمایش

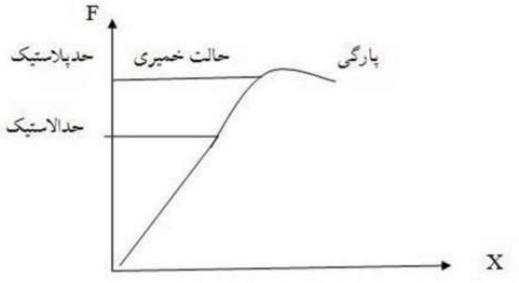
بررسی حرکت نوسانی فنر، اندازه‌گیری ضریب ثابت فنر، تعیین شتاب ثقل زمین به وسیله فنر و اندازه‌گیری جرم موثر فنر، به‌هم بستن فنرها به‌صورت سری و موازی

وسایل مورد نیاز

دو فنر متفاوت، وزنه‌های ۵۰ گرمی ٦ عدد، پایه مدرج، کرنومتر

تئوری آزمایش

وقتی که شکل جسم قابل ارتجاعی در اثر نیروی خارجی تغییر کند، نیرو متناسب با ابعاد جسم است، تغییری که در جسم ایجاد می‌شود ممکن است افزایش طول، کاهش طول، خمش، پیچش و... باشد. در هرحال وقتی نقطه‌ی اثر نیرویی به اندازه‌ی x تغییر مکان پیدا کرده وتغییر شکل (از هر نوع دلخواه) در جسم ایجاد می‌کند، بنابر قانون هوک داریم: $F=-kx$ که یک رابطه تجربی است، این قانون حالت خاصی از یک رابطه‌ی کلی‌تر، مربوط به تغییر شکل اجسام الاستیک است که توسط روبرت هوگ کشف شد، فنرها واجسام الاستیک دیگر به شرط آنکه تغییر شکلشان خیلی بزرگ نباشد از این قانون پیروی می‌کنند. اگر جسم جامدی بیش از یک مقدار معینی که حد الاستیک آن نامیده می‌شود تغییر شکل یابد، این جسم پس از حذف نیرو به شکل نخستین خود باز نخواهد گشت (شکل۱-٤). تجربه نشان می‌دهد که قانون هوگ کم و بیش با حد الاستیک برای بسیاری از مواد معمولی صادق است، آن قسمت از قلمرو نیروهای وارد بر جسم که در قانون هوک معتبر است ناحیه تناسب نامیده می‌شود.



شکل۱-۴

الف)بدست آوردن مقدار ثابت فنر از راه ازدیاد طول (قانون هوک)

حال اگر جسم قابل ارتجاع را یک فنر در نظر بگیریم و مطابق شکل وزنه M را به فنر k آویزان کنیم فنر در اثر وزن mg کشیده می‌شود و در وضع تعادل قرار می‌گیرد (البته فرض این است این کار در قسمت الاستیک قرار می‌گیرد که قانون هوگ در مورد آن صادق است) (شکل۲-٤).

مطابق با قانون هوک افزایش طول فنر متناسب با وزنی است که آن را ایجاد کرده است.

$$F=-kx \qquad (٤-٣)$$

دراین رابطهF نیروی وزن وزنه M وارد شده بر فنر است که سبب افزایش طول فنر شده K ثابت کشسانی فنر و x افزایش طول فنر می‌باشد.

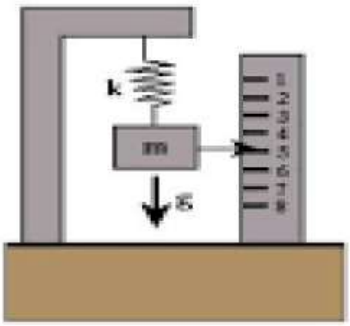
با توجه به اینکه

$$F=mg \qquad (٤-٤)$$

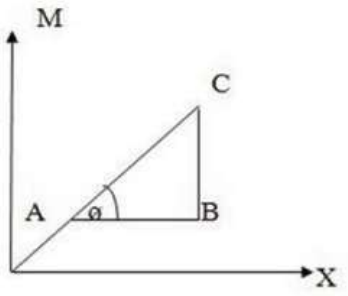
بنابراین:

$mg=-kx$ (٤-٥)

حال اگر به ازای مقادیر مختلف m,x ، منحنی تغییرات x (افزایش طول فنر) بر حسب m (جرم وزنه‌های آویخته به فنر) را رسم کنیم (نمودار۱-٤) این منحنی به صورت خطی خواهد بود که از مبدا مختصات می‌گذرد. هرگاه شیب این خط را پیدا کرده آن را n فرض کنیم داریم:



شکل۲-۴



نمودار۱-۴

$$\tan\theta = \frac{BC}{AB} = \frac{m}{x} = n$$ (٤-٦)

$$K = \frac{mg}{x} = \tan\theta . g$$ (٤-٧)

و چون وزن جسم همان نیروی وارد بر فنر است می‌توان نوشت:

$F = mg$ و $F = K\,\Delta x$ (٤-٨)

یا

$$Mg = -k\Delta x \rightarrow k = \frac{Mg}{x} = ng$$ (٤-٩)

در این رابطه به‌جای مقدار $\frac{M}{x}$ مقدار n را گذاشته‌ایم.

شرح آزمایش

فنر را به حالت قائم از یک نقطه آویزان کنید. ستون مدرج میله‌ای را برروی یک گیره درکنار فنر به گونه‌ای قراردهید که فنر به موازات ستون مدرج قرارگیرد و در این حالت بتوانید طول فنر را به‌وسیله این ستون مدرج اندازه بگیرید. ابتدا فنر را رها کنید تا در حالت تعادل قرار گیرد. حال طول فنر را بوسیله ستون مدرج یادداشت کنید. سپس وزنه‌ای با جرم معین (مثلا۱۰گرم) را به فنر آویزان کنید. صبر کنید که فنر در حالت تعادل قرار بگیرد. حال طول فنر را از روی ستون مدرج بخوانید. با کم کردن طول اولیه از این طول می‌توانید افزایش طول فنر را اندازه بگیرید.

برای اینکه مقدار اندازه‌گیری شده دارای خطای کم‌تری باشد، آزمایش را چندین بار انجام دهید. سپس از مقادیر مختلف اندازه‌گیری شده در طول آزمایش‌های مختلف میانگین بگیرید. به این ترتیب می‌توانید افزایش طول فنر را اندازه بگیرید. چون مقدار جرم وزنه و نیز شتاب گرانش زمین (g) معلوم است، بنابراین می‌توانیم از رابطه

$K = \frac{mg}{x}$ ، مقدار k (ثابت فنر) را به‌راحتی محاسبه کنیم.
با استفاده از این آزمایش می‌توانیم درستی قانون هوک را نیز مورد ارزیابی قرار دهیم. درمی‌یابیم که به‌درستی نیروی کشش، با افزایش طول فنر رابطه خطی دارد.
جدول (۱-٤) را رسم کنید و پس از بدست آوردن میانگین k از جدول $\left(\bar{k}\right)$، منحنی تغییرات m برحسب x را رسم کرده و از روی نمودار مقدار k را با استفاده از تانژانت زاویه دلخواه بدست آورید.

m	mg	(ΔX)	$k = \frac{mg}{\Delta x}$

جدول ۱-۴

ب)بدست آوردن ثابت فنر از طریق بررسی ارتعاشات فنر

هنگامی که جسمی به جرم m به انتهای فنر آویخته شود، دستگاه پس از افزایش طول فنر دوباره به حالت تعادل می‌رسد. حال اگر وزنه را از حالت تعادل خارج نموده (مثلا اندکی به طرف پایین کشیده) و سپس رها کنیم مجموعه فنر و وزنه در امتداد قایم حول وضع تعادل خود شروع به نوسان می‌کند. اینک می‌خواهیم برای این حرکت نوسانی یک معادله حرکت را بنویسیم.
اگر جرم فنر در برابر جرم وزنه بسیار ناچیز و قابل صرف نظر کردن باشد در این صورت با استفاده از قانون دوم نیوتون و قاون هوگ می‌توانیم معادله حرکت وزنه آویخته شده را به طریق زیر بیابیم.

$$F = ma \qquad F = -kx$$

(٤-١٠)

ازطرفی از دینامیک حرکت داریم:

$$F = ma = \frac{m\,dv}{dt} = m\,\frac{d^2x}{dt^2}$$

(٤-١١)

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$$

(٤-١٢)

هر جسمی که موقعیت آن در معادله فوق صدق کند دارای حرکت نوسانی است. اگر پاسخ معادله دیفرانسل فوق را به صورت $x = \cos(\omega t + \varphi)$ در نظر بگیریم می‌توان نشان داد که $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ ، بنابراین دوره تناوب به صورت زیر خواهد بود.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

(٤-١٣)

علامت منفی در فرمول (۱۰-٤) برای آن است که نیروی kx- از حرکت جلوگیری می‌کند. برای سهولت می‌توان بهجای $\frac{g}{mn}$ مقدار w^2 را قرار داد در این صورت $\frac{d^2x}{dt^2}+w^2=0$ و این معادله دیفرانسیلی مرتبه دوم خطی ناقص است که حل آن به صورت $x = x\cos wt$ می‌باشد.
می‌دانیم که این معادله حرکت نوسانی ساده است که زمان نوسان آن $T=\frac{2\pi}{w}$ می‌باشد.

در رابطه (۱۳-٤) از جرم فنر صرف نظر شده است. اما برای اندازگیری دقیق‌تر دوره تناوب سیستم، بهتر است جرم موثر فنر را هم در رابطه‌ی فوق لحاظ کنیم که جرم موثر $\frac{1}{3}$ جرم فنر است.

$$M = m + m_e \rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{m+m_e}{k}} \qquad (٤-١٤)$$

و خواهیم داشت:

$$T^2 = \frac{4\pi^2 m}{k} + \frac{4\pi^2 m_e}{k} \qquad (٤-١٥)$$

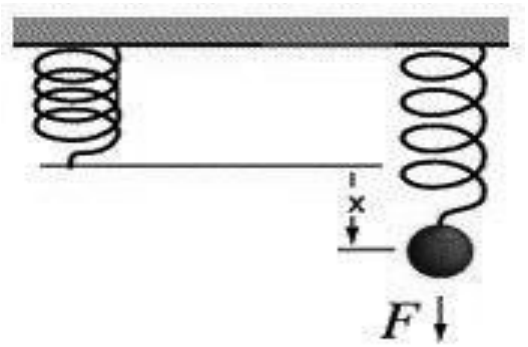
شرح آزمایش

اگرجرم به انتهای یک فنر بسته شود و پس از کشیده شدن رها گردد، در حالت آرمانی که اصطکاک نداشته باشیم و جرم فنر نسبت به جرم m ناچیز باشدT فنر و جرم همواره نوسان خواهند کرد که سرعت زاویه‌ای آن برابر $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ خواهد بود. بسامد آن برابر است با:

$$f = \frac{1}{2n}\sqrt{\frac{k}{m}} \rightarrow f \propto \frac{1}{T} \rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad (٤-١٦)$$

$$K = \frac{4\pi^2 m}{T^2} \qquad (٤-١٧)$$

تذکر: رابطه‌های بالا با این فرض گفته شد که فنر بیش از بازه کشسان خود کشیده نشده باشد که در غیر این صورت فنر دچار تغییر شکل همیشگی (بدون بازگشت) می‌شود.
نیروی هوک در خلاف جهت افزایش طول فنر وارد می‌شود (این نیرو می‌خواهد فنر را به حالت اولیه خود برگرداند) بنابراین بهتر است که این رابطه را به صورت f= -kx نشان دهیم. قابل توجه است که مقدار افزایش طول فنر نباید بیشتر از حد کشسانی فنر باشد، چون در این صورت قانون هوک صادق نخواهد بود. اگر چنانچه به‌جای کشیدن فنر، آن رافشرده کنیم، باز نیروی هوک (f) وجود دارد و این بار، این نیرو سعی می‌کند که فنر را از حالت فشرده شده به حالت اولیه خود بازگرداند.



شکل ۳-۴

شرح آزمایش

وزنه‌ای را به فنر آویزان کنید آن را قدری به پایین بکشید و به آرامی رها کنید، دقت کنید تا نوسان‌های فنر در امتداد قائم باشد. زمان ۲۰ نوسان را با کرنومتر به‌دست آورید و از روی آن T زمان یک نوسان کامل یا دوره حرکت را پیدا کنید این عمل را با وزنه‌های مختلف انجام دهید و جدول(۲-٤) را کامل کنید و با استفاده از فرمول مقدار K را محاسبه کنید.

m	t	T=t/20	T^2	$K=\frac{4\pi^2 m}{T^2}$
100				
150				
200				

جدول ۲-۴

ج) اندازه‌گیری شتاب ثقل زمین و جرم موثر فنر

منحنی تغییرات x برحسب m را (با توجه به داده‌های جدول ۱-٤) روی محورهای مختصات رسم کرده شیب خط را حساب کنید.

سپس مقدار g را از طریق فرمول $g=\frac{kx}{m}$ محاسبه نمایید.

به هم بستن فنرها

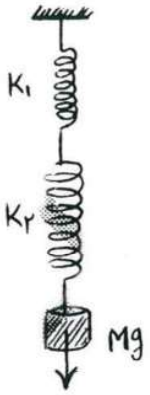
الف) به‌صورت متوالی

به روش آزمایش قبل مقادیر K ،Tدو فنر مختلف را بدست‌آورید سپس دو فنر را به‌صورت متوالی به‌هم‌ببندید و به‌انتهای آن‌ها مقادیر مشخص وزنه آویخته و مقدار K و T را محاسبه نموده و درستی روابط زیر را تحقیق کنید.

برای این منظور جدول (۳-٤) را کامل کنید و در انتها نتیجه بدست آمده را یادداشت کنید.

$$T^2 = T_1^2 + T_2^2$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}$$



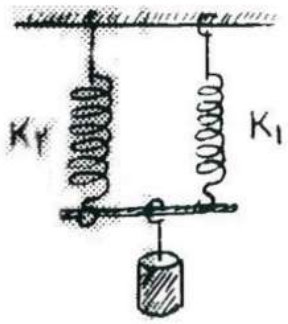
شکل ۴-۴: بستن فنرها به‌صورت متوالی

m	k_1	k_2	t	$T = \frac{t}{5}$	T^2	$k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$	T	Tتئوری	kتئوری
100									
150									
200									

جدول۳-۴

ب) بهم بستن موازی

دو فنر را به‌صورت موازی به‌هم‌ببندید. برای این منظور جدول (٤-٤) را کامل کنید و در انتها نتیجه به‌دست آمده را یادداشت نمایید و از مقادیر بدست آمده K و T روابط زیر را تحقیق کنید.



$$K = K_1 + K_2$$

$$\frac{1}{T_1^2} = \frac{1}{T_2^2} = \frac{1}{T}$$

شکل ۵-۴: بستن فنرها به‌صورت موازی

m	k_1	k_2	t	$T=\frac{t}{5}$	T^2	$k=\frac{4\pi^2 m}{T^2}$	T	تئوریT	تئوریk
100									
150									
200									

جدول ٤-٤

آزمایش شماره ۵: ضریب پیچشی فنر

نام آزمایش: فنر پیچشی (آونگ ویلبر فورس Wilber force)

مقدمه

بسیاری از وسایل آزمایشگاهی دارای نوسانات پیچشی می‌باشند. در گالوانومتر به طور قابل ملاحظه‌ای از نوسانات پیچش فنر استفاده می‌شود. فنرهای رقاصک ساعت نمونه دیگری از حرکت نوسانی زاویه‌ای می‌باشد.

نظریه آزمایش: افزایش طول فنر در اثر نیرو یک حالت خاصی از تغییر شکل اجسام کشسان در اثر عوامل خارجی است. یک حالت خاص دیگر پیچش است که به صورت زیر بیان می‌شود:

تغییر شکل (در اینجا پیچش با زاویه‌ی θ نسبت به حالت تعادل سنجیده می‌شود) به شرط آن که از حد کشسانی نگذرد با عامل ایجاد کننده‌ی پیچش که گشتاور نیرو است متناسب است. مقدار این گشتاور طبق قانون هوک (F=-kx) عبارت است از :

$$N = -K\theta \qquad (۵-۱)$$

در معادله‌ی بالا k ثابتی است که به خصوصیات جسم بستگی دارد و ثابت پیچش نامیده می‌شود. علامت منها به این خاطر است که تغییرات N با تغییرات θ در دو جهت مخالف هستند. معادله بالا شرط لازم برای حرکت نوسانی زاویه‌ای ساده است. در مورد معادله حرکت چنین سیستمی به این مساله توجه می‌کنیم که در قانون دوم نیوتون که رابطه‌ی اساسی دینامیک می‌باشد F=ma، به‌جای نیرو گشتاور نیروی N و به‌جای جرم لختی گشتاور جرم I و به جای شتاب خطی شتاب زاویه‌ای α را قرار می‌دهیم، یعنی:

$$F = ma \qquad (۵-۲)$$

$$N = I \propto = I\frac{d^2\theta}{dt^2} \qquad (۵-۳)$$

$$N = -K\theta \quad \text{یا} \quad -K\theta = I\frac{d^2\theta}{dt^2} \qquad (۵-٤)$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2}+\frac{k}{1}\theta=0 \qquad (۵-۵)$$

جواب این معادله دیفرانسیل به صورت $\theta=\theta_m Cos(wt+\Phi)$ است که در آن $\omega=\frac{K}{I}$ است در نتیجه

$$\omega=\frac{2\pi}{T} \qquad \text{یا} \qquad T=2\pi\sqrt{\frac{I}{k}} \qquad (۵-۶)$$

این سیستم می‌تواند نوسانات طولی و پیچشی ایجاد کند که با یکدیگر ترکیب یا جفت می‌شوند. اگر این نوسانات طولی و پیچشی به‌طور صحیحی با یکدیگر ترکیب شوند، پدیده زنش (**beats**) رخ می دهد که در اثر آن گاهی انرژی نوسانی به‌طور کامل تبدیل به نوسانات طولی می‌شود و مشاهده می‌کنید که زیاد شدن طول فنر نسبت به حالت‌های دیگر بیشتر می‌شود و گاهی انرژی نوسانی به‌طور کامل تبدیل به نوسانات پیچشی می‌شود و صلیب سریع‌تر از مواردی عادی نوسان می‌کند. که این همان پدیده‌ی زنش است.
می‌توانیم ثابت پیچشی فنر (**k**) و لختی دوران (ممان اینرسی) جسم متصل به آن (**I**) را با انجام آزمایش اندازه بگیریم.

جسم مورد نظر ما جسمی صلیبی شکل متشکل از یک استوانه مرکزی و ٤ میله متصل به آن است. دوره تناوب جسم صلیبی به تنهایی از رابطه بدست $T_1=2\pi\sqrt{\frac{I}{k}}$ می‌آید. در حالی‌که اگر مهره‌ها را به جسم صلیبی اضافه کنیم دوره تناوب به شکل $T_2=2\pi\sqrt{\frac{I+4md^2}{k}}$ خواهد بود.

از این دو رابطه داریم:

$$T_2^2-T_1^2=\frac{4\pi^2 4md^2}{k} \qquad (۵-۷)$$

شکل ۱-۵

هدف آزمایش

تعیین ضریب پیچشی فنر

وسایل مورد نیاز

جسم صلیب شکل با مهره‌های مربوطه که گشتاور لختی را می‌توان با آن مهره‌ها تغییر داد، فنر به طول تقریبی ۱/۵، ترازو، کرنومتر، کولیس

روش آزمایش

۱- جرم یکی از مهره‌ها را با ترازو اندازه گرفته و یادداشت می‌کنیم.

۲- ابتدا جسم صلیبی شکل را بدون هیچ مهره‌ای به فنر وصل کنید. با دوران آن انرژی پتانسیل مناسب را اعمال نمایید.

۳- جسم را پس از دوران رها کنید و زمان ۱۰ نوسان منظم و بدون انحراف به بالا و پایین را به‌صورت حرکت در صفحه افقی توسط کرنومتر بدست آورید و سپس این کار را برای ۱۵ و ۲۰ نوسان تکرار کنید و جدول (۱) را کامل کنید.

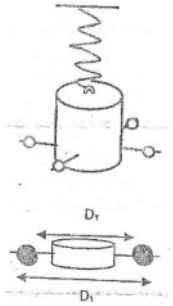
جدول ۱-۵

زمان	تعداد نوسان ها
	۵
	۱۰
	۱۵

٤-در این حالت زمان برای یک نوسان را محاسبه کنید.(T_1)

$$T_1 = \frac{\text{مجموع زمان‌ها}}{\text{مجموع کل نوسانات}} \qquad (۵-۸)$$

۵- اکنون چهار مهره را در ٤ طرف استوانه بر روی میله‌ها به فواصل مساوی تا مرکز جرم استوانه سوار کنید.



شکل ۲-۵

٦- با استفاده از کولیس فاصله مرکز جرم مهره تا مرکز جرم استوانه (d) را اندازه بگیرید. برای این کار ابتدا فاصله خارجی بین دو مهره روبروی دو طرف استوانه را اندازه‌گیری (D_1) و بعد فاصله داخلی (D_2) آنها را اندازه‌گیری

کنید. در این‌صورت داریم:

$$d = \frac{D_1 + D_2}{4} \qquad (۵-۹)$$

۷- جسم را به فنر وصل کنید. با دوران آن انرژی پتانسیل مناسب را اعمال نمایید.

جسم را پس از دوران رها کنید و مانند حالت قبل زمان ۱۰،۱۵و۲۰ نوسان کامل را اندازگیری نمایید.
سپس جدول (۲-۵) را کامل کنید.

جدول۲-۵

زمان	تعداد نوسان‌ها
	۵
	۱۰
	۱۵

۸- در این حالت زمان برای یک نوسان را محاسبه کنید.

$$T_2 = \frac{\text{مجموع زمان‌ها}}{\text{مجموع کل نوسانات}} \qquad (۵-۱۰)$$

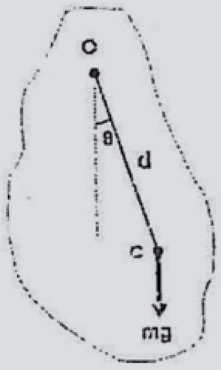
ثابت پیچشی فنر و سپس ممان اینرسی را بدست‌آورید.

آزمایش شماره ۶: آونگ مرکب (آونگ کاتر)

مقدمه

آونگ مرکب: هر جسم صلبی که بتواند در یک صفحه قائم، حول محوری که از آن صفحه می‌گذرد، نوسان کند آونگ فیزیکی یا آونگ مرکب نامیده می‌شود. آونگ مرکب تعمیم آونگ ساده است. شکل(۱) یک آونگ مرکب به جرم m است که مرکز جرم آن در مکان C قرار دارد. محور دوران آونگ، عمود بر صفحه است و از نقطه o می‌گذرد. دوره تناوب این آونگ حول o ، برای زاویه‌های کوچک $(\theta\langle 6)$ از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I_o}{mgd}} \qquad (۶-۱)$$



شکل۱-۶

در این رابطه، I_0 لختی دورانی جسم حول محور O می‌باشد و d فاصله محور دوران تا مرکز جرم است.

هدف آزمایش

اندازه‌گیری شتاب ثقل زمین.

وسایل مورد نیاز

آونگ مرکب و کورنومتر

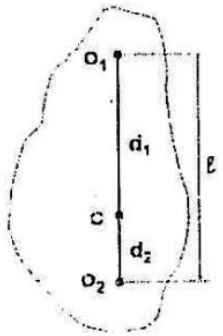
تئوری آزمایش

تعریف قضیه هویگنس: اگر مطابق شکل(۲-۶) بتوانیم دو محور نوسان مثل O_1 ، O_2 (این دو محور عمود بر صفحه و گذرنده از نقاط O_1 ، O_2 هستند) را در دو طرف مرکز جرم و نامتقارن نسبت به آن، به‌گونه‌ای پیدا کنیم که زمان تناوب نوسان جسم، حول این دو محور با هم مساوی باشند، رابطه (۱-۶) به رابطه آونگ ساده یعنی $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ تبدیل می‌شود. به عبارتی دیگر در آونگ ساده طول آونگ ساده که از بالا تا مرکز ثقل گلوله است را نداریم. همچنین مرکز جرم کره و جرم نخ را نداریم بنابراین با استفاده از قانون هویگنس L را محاسبه می‌کنیم.

تعریف دیگر قضیه هویگنس: اگر دو نقطه T_1 ، T_2 در دو طرف مرکز ثقل جسم به طور غیر متقارن قرار بگیرند به طوری که زمان نوسان کامل حول این دو محور مساوی باشد فاصله T_1 ، T_2 مساوی طول آونگ ساده همزمان با آونگ مرکب است.

در آونگ مرکب چون جرم در آن توضیع شده، هر نقطه‌ای که در نظر بگیریم دوره تناوب متفاوتی به ما می‌دهد. دو نقطه‌ای که زمان نوسان آن‌ها با هم برابر باشند فاصله‌ای به اندازه L از هم دارند که این فاصله برابر با طول آونگ ساده‌ای است که همان دوره تناوب را داشته باشد.

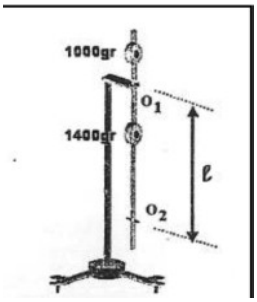
در این رابطه، L فاصله بین دو محور است.



شکل۲-۶

اندازه‌گیری g با استفاده از آونگ مرکب

اگر بتوانیم جسمی پیدا کنیم یا بسازیم به‌طوری‌که برای آن T_1 ، T_2 باشد، می‌توانیم مقدار g را بدست‌آوریم. آونگ کاتر یک آونگ مرکب است و تشکیل شده است از میله‌ای که در دو طرف آن دو تیغه به‌عنوان محل نوسان تعبیه شده و دو وزنه به شکل استوانه که روی میله نصب شده‌اند و به‌وسیله پیچ روی آن‌ها می‌توان محل وزنه‌ها بر روی میله را تغییر داد. به‌وسیله تغییر محل دو وزنه مرکز ثقل دستگاه را آن‌قدر تغییر می‌دهیم که زمان نوسان نسبت به دو محور مساوی شود. با تغییر موقعیت وزنه‌ها، مرکز جرم سیستم تغییر می‌کند و جسم جدیدی ساخته می‌شود. موقعیت وزنه‌های روی میله را آنقدر تغییر می‌دهیم تا در حالتی $T_2 = T_1$ شود. در این حالت، دوره تناوب جسم مورد نظر بدست آمده است.



شکل۳-۶

مراحل انجام آزمایش

۱- وزنه‌ای که خارج از دو محور است (۱۰۰۰) در محلی روی میله ثابت کنید (از وسط کمی بالاتر).

۲- دو تیغه را با نام‌های o_1 ، o_2 علامت گذاری کنید.

۳- وزنه داخلی (۱٤۰۰) را روی فاصله ۵ سانتی‌متر از o_2 ببندید. در این حالت آونگ کاتر جسم صلبی تشکیل داده است که ما آن را جسم ۱ نامگذاری می‌کنیم. زمان ۲۰ نوسان کامل حول o_1 را توسط کرنومتر خوانده و از روی آن T_1 را به‌دست آورید.(توجه کنید که $(\theta\langle 6)$ باشد و آونگ در یک صفحه حرکت کند.)

٤- بدون اینکه محل وزنه‌ها را تغییر دهید آونگ را وارونه کرده تا حول o_2 نوسان کند و مثل بالا T_2 را به‌دست آورید.

۵- وزنه داخلی را5cm بالا ببرید. با این کار جسم صلب جدیدی (جسم ۲) ساخته‌ایم. مطابق شکل (۳) T_1 و T_2 را برای این جسم نیز اندازه بگیرید.

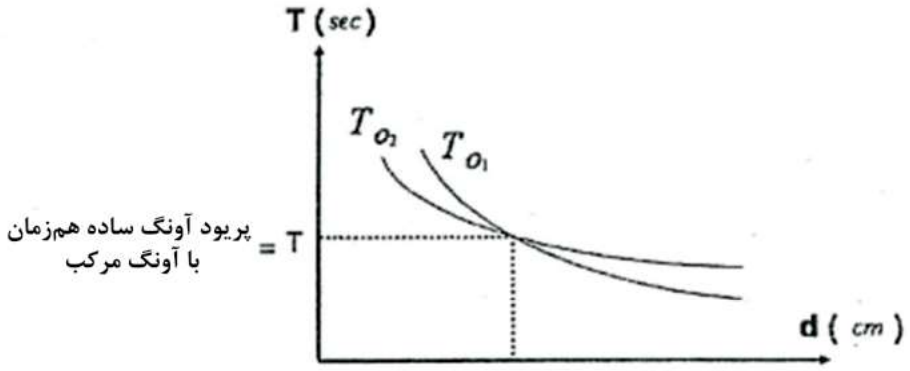
٦- وزنه داخلی را 5cm به 5cm بالا ببرید و در هر حالت T_1 و T_2 را اندازه‌گرفته و نتایج را در جدول(۱-٦) یادداشت کنید.

$T_2 = T_{1000}$ $\qquad\qquad$ $T_1 = T_{1400}$

مقدار جابجایی وزنه O_2=۱۴۰۰ گرمی	زمان ۲۰نوسان حول O_1 (T_{1400}) t_1	t_2	t_3	$(\overline{T_{1400}})$	زمان ۲۰ نوسان حول O_2 (T_{1000}) t_1	t_2	t_3	$(\overline{T_{1000}})$
5cm (جسم ۱)								
10cm (جسم ۲)								
15cm (جسم ۳)								
20cm (جسم ۴)								
25cm (جسم ۵)								
30cm (جسم ۶)								
35cm (جسم ۷)								
40cm (جسم ۸)								
45cm (جسم ۹)								

جدول ۱-۶

۷-هنگام جابجایی وزنه‌ها، در حالتی باید $T_1 = T_2$ شده باشد. برای یافتن این نقطه، مطابق زیر عمل کنید:
منحنی تغییرات T_1 و T_2 برحسب d را روی یک صفحه مختصات رسم کنید (شکل ٤-٦) و محل تقاطع دو منحنی را بیابید در این نقطه، $T_1=T_2=T$ خواهد بود.



شکل۴-۶

۸- حالا با معلوم بودن T,L (فاصله بین دو محور دوران که در این آزمایش ثابت و برابر ۱متر است) می‌توان g را بدست آورد:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \rightarrow g = \frac{4\pi^2 L}{T^2} \qquad (٦-٢)$$

آزمایش شماره ۷: تعیین گرمای ویژه الکل به روش سرد کردن

نام آزمایش

تعیین گرمای ویژه الکل به روش سرد کردن در مقایسه با آب به عنوان مایعی که گرمای ویژه‌اش معلوم است.

تئوری آزمایش

هرگاه دمای جسم از محیط اطراف خود بیشتر باشد، جسم از طریق هدایت، جابجایی و تابش به محیط اطراف، گرما را منتقل می‌کند و به‌تدریج سرد می‌شود تا با محیط به دمای تعادل برسد. قانون اتلاف حرارتی نیوتن بیان می‌کند گرمای منتقل شده در واحد زمان مستقیما با اختلاف دمای جسم و محیط و سطح تماس جسم و محیط بستگی دارد.

$$\frac{dQ}{dt} = A.\Delta\theta \qquad (۷-۱)$$

در شرایط کاملا یکسان داریم:

$$\frac{dQ_1}{dt_1} = \frac{dQ_2}{dt_2}, (Q = mc\Delta\theta), (\Delta\theta_1 = \Delta\theta_2) \Rightarrow \frac{m_1c_1}{t_1} = \frac{m_2c_2}{t_2} \qquad (۷-۲)$$

$$c_2 = \frac{m_1c_1t_2}{m_2t_1} \qquad (۷-۳)$$

تعریف ظرفیت گرمایی ویژه : ظرفیت گرمایی ویژه معادل مقدار گرمایی است که لازم است یک کیلوگرم از ماده‌ای دریافت کند تا دمای آن یک واحد افزایش یابد.

یکای ظرفیت گرمایی ویژه بسته به نوع تعریف، ژول بر گرم.درجه‌سانتی‌گراد($\frac{J}{gr.C^\circ}$)، ژول بر کیلوگرم. درجه‌سانتی‌گراد ($\frac{J}{kg.C^\circ}$) یا ژول بر مول.درجه‌سانتی‌گراد ($\frac{J}{mol.C^\circ}$) خواهد بود.

هدف آزمایش

تعیین گرمای ویژه الکل با استفاده از قانون اتلاف حرارتی نیوتن

وسایل مورد نیاز

دو لوله آزمایش مشابه، بشر، دو دماسنج، گیره و پایه، ترازو، آب و الکل، کرنومتر

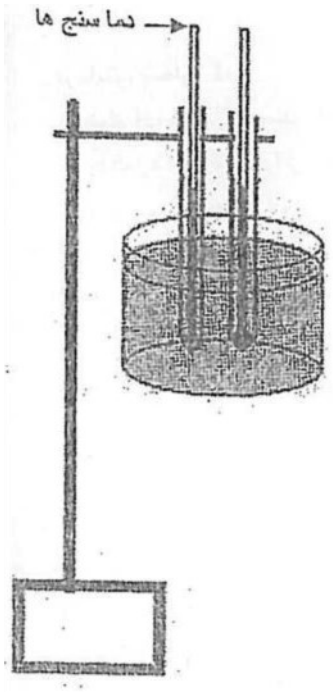
روش آزمایش

۱- دو لوله آزمایش کاملا مشابه بردارید و جرم هر یک را جداگانه اندازه بگیرید. برای این کار لوله را درون یک بشر قرار دهید و جرم کل را محاسبه کنید.

بشر+ لوله خالی آب ⟵ m_1' بشر + لوله خالی الکل ⟵ m_2'

۲- درون یکی از لوله‌ها آب و درون دیگری مایع مورد آزمایش (الکل) با ارتفاع مساوی بریزید سپس دوباره هر لوله را جداگانه درون بشر قرار دهید و جرم کل را محاسبه کنید.

بشر+ لوله حاوی آب ⟵ m_1'' بشر + لوله حاوی الکل ⟵ m_2''



شکل ۱-۷

۳- جرم خالص آب و الکل را بدست آورید.

جرم خالص آب $m_1=m_1''-m_1'$

جرم خالص الکل $m_2=m_2''-m_2'$

٤- دو لوله را به گیره متصل به پایه محکم کنید.

۵- درون هر کدام از لوله‌ها یک عدد دماسنج قرار دهید. دماسنج‌ها به بدنه و کف لوله تماس نداشته باشند. (شکل۱-۷)

٦- درون بشر آب می‌ریزیم و طوری لوله‌ها را در بشر قرار می‌دهیم تا سطح آب از سطح مایع لوله‌ها بالاتر قرار گیرد (شکل ۱-۷).

۷- شعله گاز را روشن می‌کنیم تا دمای آب و الکل به ٤٥ درجه برسد، به محض اینکه دما در هر دو لوله بر روی ٤٥ درجه ثابت شد. لوله‌ها را از بشر خارج کنید و کاهش دما را هر ٦٠ ثانیه یادداشت کنید. جدول (۱-۷) را کامل کنید.

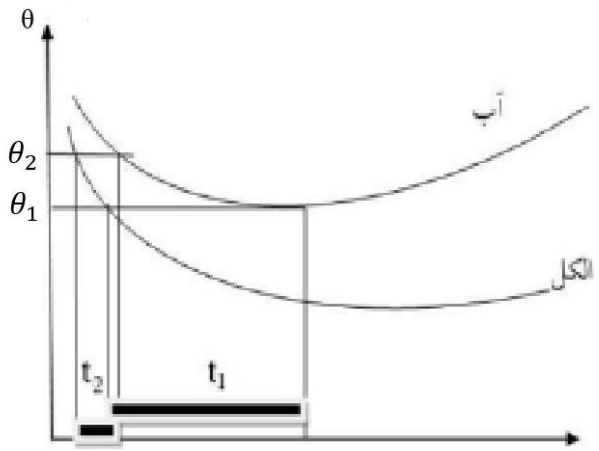
جدول ۱-۷

زمان $s(t)$	دمای الکل $\theta_2(^oC)$	دمای آب $\theta_1(^oC)$
0		
60		
120		
180		
....		

توجه کنید در مرحله هم‌دما کردن لوله‌ها، مسلما یک مایع زودتر به دمای دلخواه ما خواهد رسید و مایع دیگر دیرتر، برای از بین بردن این مشکل لوله‌ای که زودتر به دمای بالا رسیده را از بشر خارج کرده و منتظر بمانید تا لوله دیگر هم به آن دما برسد. به محض هم دمایی این دو، مرحله ۷ را انجام دهید.

نمودار θ (محور عمودی) بر حسب t (محور افقی) را برای دو مایع آب و الکل در یک صفحه رسم کنید (نمودار ۱-۷). دو خط افقی دلخواه رسم کنید تا دو نمودار آب و الکل را قطع کنند (θ_1, θ_2). با مشخص شدن t_1 و t_2 با استفاده از رابطه $c_2 = \frac{m_1 c_1 t_2}{m_2 t_1}$ گرمای ویژه الکل بدست می‌آید.

گرمای ویژه آب c_1=4200



نمودار ۱-۷

آزمایش شماره ۸: ضریب انبساط طولی فلزات

تئوری آزمایش

بیشتر اجسام جامد با گرم شدن انبساط می‌یابند.

تجربیات نشان داده که اگر تغییر دما بسیار زیاد نباشد، تعییر طول با تغییر دما نسبت مستقیم دارد اما تغییر طول به طول اولیه فلز نیز بستگی دارد. اگر دو میله‌ی هم‌جنس، تغییر دمای یکسان داشته باشند، اما طول یکی، دو برابر دیگری باشد، تغییر طول میله بلندتر نیز دو برابر تغییر طول میله کوتاه‌تر خواهد بود.

اگر طول میله‌ای در دمای θ_1 ، برابر L_1 باشد و با افزایش دما تا θ_2 ، طول میله برابر L_2 شود انبساط طولی صورت می‌گیرد که اگر ضریب انبساط طولی را با λ نشان دهیم داریم:

$$L_2 - L_1 = L_1\lambda(\theta_2 - \theta_1) \qquad (۸-۱)$$

$$\Delta L = L_1\lambda\Delta\theta \qquad (۸-۲)$$

تعریف ضریب انبساط طولی: افزایش طول میله‌ای به‌اندازه طول واحد، در اثر ازدیاد یک درجه سانتی‌گراد دما را ضریب انبساط طولی آن جسم می‌گویند که از ویژگی‌های فیزیکی جسم است.

به عبارت دیگر افزایش طول یک متر به ازای ۱ درجه سانتی‌گراد دما

هدف آزمایش

تعیین ضریب انبساط طولی یک فلز

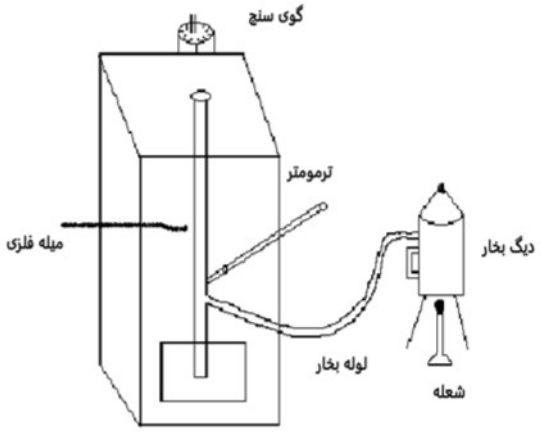
وسایل آزمایش

دستگاه تهیه بخار،لوله‌های عبور بخار، میله‌های فلزی آهنی، مسی، برنجی، گوی‌سنج، خط‌کش میلی‌متری، ترمومتر

روش آزمایش

۱- طول اولیه میله را اندازه‌گیری کنید L_1

۲-دستگاه را مطابق شکل(۱-۸) قرار داده ظرف تهیه بخار آب را پر از آب کنید و کنترل نمایید که تمام قطعات به‌هم اتصال داشته باشند، میله فلزی را به‌طور قائم در داخل دستگاه قرار دهید. گوی‌سنج را طوری قرار دهید که پایه وسطی آن کاملا مماس بر میله انبساط‌پذیر قرار گیرد. سپس ترمومتر را در جای خود قرار داده و دمای اولیه را تعیین کنید.



شکل۱-۸

۳- صفحه مدرج گوی‌سنج عقربه‌ای را بچرخانید تا عقربه آن بر روی صفر قرار گیرد در این حالت دمای آب داخل ظرف تقریبا با دمای میله برابر است.

٤- دماسنج را خوانده و دمای اولیه را یادداشت کنید (θ_1) و منتظر بمانید تا دما افزایش یابد.

۵- شعله گاز را روشن کنید.

٦- در بازه‌های دمایی یکسان (هر درجه افزایش) به کمک گوی‌سنج عقربه‌ای اندازه طول میله را برحسب صدم میلی‌متر مشخص و جدول(۱-۸) را کامل کنید.

θ	$\Delta L = (mm)$
۸۸	
۷۸	
۶۸	
۵۸	
۴۸	
۳۸	

جدول ۱-۸

نمودار تغییرات ΔL (محور عمودی) بر حسب $\Delta\theta$ (محور افقی) را رسم کنید و از شیب نمودار ضریب انبساط طولی را به‌دست آورید.

❖ آزمایش شماره ۹: ارزش آبی کالریمتر

تئوری آزمایش

گرما، انرژی انتقال‌یافته از یک سیستم به سیستم دیگر می‌باشد که به دلیل اختلاف دمای موجود در سیستم انتقال می‌یابد.

گرمای ویژه مشخصه هر ماده می‌باشد که بنابر تعریف ، عبارتند از: مقدار گرمای لازم برای افزایش یک درجه دمای واحد جرم ماده، به عبارتی ظرفیت گرمایی ویژه هرجسم، مقدار گرمایی است که واحد جرم جسم می‌گیرد تا دمای آن یک درجه تغییر کند. واحدهای آن $\frac{Cal}{g.C^\circ}$ و $\frac{J}{Kg.k^\circ}$ است.

ظرفیت گرمایی : میزان گرمایی که دمای جسم را به اندازه واحد دما تغییر می‌دهد. ظرفیت گرمایی واحد جرم ماده را گرمای ویژه می‌نامند و با c نمایش می‌دهند. بنابراین ظرفیت گرمایی جرم m از یک ماده خالص از رابطه$A=mc$ تعیین می‌شود.

کالریمتر: ظرفی است که در حالت ایده‌آل محیط داخلش با بیرون ظرف ارتباط گرمایی ندارد و برای آزمایش‌های گرماسنجی(کالریمتری) استفاده می‌شود. ارزش آبی کالریمتر همان ظرفیت گرمایی دستگاه است که طبق تعریف، مقدار گرمایی است که بدنه کالریمتر، دماسنج و همزن مبادله می‌کنند تا یک درجه تغییر دما دهد.کالریمتر، هر چند از مبادله گرما با محیط بیرون یا از ورود گرمای محیط به داخل سیستم جلوگیری می‌کند اما خود به‌عنوان یکی از اجسام درون سیستم در مبادله گرما سهم دارد و در آزمایش‌ها لازم است بدانیم سهم گرماسنج (کالریمتر) درمبادله گرما چه میزان بوده‌است. بنابراین باید ظرفیت گرمایی آن را بدانیم. گرمای ویژه آب خالص $\frac{Cal}{g.C^\circ}$ است. بنابراین جسمی که ظرفیت گرمایی آن A است در مقابل گرما، نقشی معادل A گرم آب را دارد. به‌همین دلیل A را ارزش آبی کالریمتر گویند.

گرمای نهان ذوب: گرمایی که جسم جامد در نقطه ذوب خود می‌گیرد تا به مایع تبدیل شود (سبب تغییر

دمای آن نمی‌شود بلکه صرف تغییر حالت آن خواهد شد) از این رو به‌این گرما، گرمای نهان ذوب گویند. دادن گرمای نهان ذوب به جامدی که به نقطه ذوب خود رسیده‌است، آنرا ذوب می‌کند.

گرمای نهان ویژه ذوب (L_f) یک جامد، برابر است با مقدار انرژی که باید به یک کیلوگرم از آن جامد در دمای نقطه ذوب بدهیم تا به مایع در همان دما تبدیل شود. یکای گرمای نهان‌ویژه در **SI** ، **J/Kg** است. بنابراین گرمای نهان ذوب **m** کیلوگرم جامد از رابطه $Q = m L_f$ بدست می‌آید.

گرمای نهان تبخیر: گرمایی را که یک مایع در نقطه جوش خود می‌گیرد تا به بخار در همان دما تبدیل شود، گرمای نهان تبخیر گویند.

گرمای نهان ویژه تبخیر (L_v) یک مایع، برابر است با مقدار گرمایی که باید به یک کیلوگرم از آن مایع در دمای نقطه جوش بدهیم تا به بخار در همان دما تبدیل شود.یکای گرمای ویژه در **SI** ، **J/Kg** است.بنابراین گرمای نهان تبخیر **m** کیلوگرم جامد از رابطه $Q = m L_V$ بدست می آید.
گرما یکی از اشکال انرژی است که به علت اختلاف دما بین اجسام، مبادله می‌شود. درصورتی که چند جسم با دماهای مختلف در یک سیستم بسته در مجاورت یکدیگر قرار گیرند، اجسام گرم که دمای بیشتری دارند، گرما از دست می‌دهند و سردتر می‌شوند واجسام سرد که دمای کمتری دارند، گرما می‌گیرند و دمایشان بالا می‌رود. این تبادل گرما تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که همه اجسام به دمای یکسانی به نام دمای تعادل برسند. طبق اصل بقای انرژی یا اصل تعادل حرارتی، مجموع گرمای مبادله شده توسط اجسام مختلف در یک سیستم بسته، صفر است. چرا که گرمای مبادله شده توسط اجسام گرم، منفی و گرمای مبادله شده توسط اجسام سر، مثبت خواهد بود.

$Q_1 + Q_2 + \ldots\ldots = 0$

به‌عبارتی دیگر، مقدار گرمایی که اجسام گرم از دست می‌دهند، برابر با مقدار گرمایی است که اجسام سرد می‌گیرند. گرمای مبادله شده توسط هر جسم را می‌توان به صورت $Q = mc\Delta\theta$ نوشت.

مقدار گرمای گرفته شده توسط جسم سرد+ مقدار گرمای از دست داده شده توسط جسم گرم
صفر = مقدار گرمای گرفته شده توسط کالریمتر +

$$m_1 c(\theta_T - \theta_1) + m_2 c(\theta_T - \theta_2) + mc(\theta_T - \theta_2) = 0$$

θ_1 دمای آب گرم، θ_2 دمای آب سرد، θ_T دمای تعادل، m جرم آب،c ظرفیت گرمایی ویژه آب، m جرم آب

هدف آزمایش

تعیین ارزش آبی کالریمتر

وسایل مورد نیاز

کالریمتر، دو عدد دماسنج، سه پایه، تورسیمی، شعله گاز، آب سرد، آب گرم، بشر، استوانه مدرج یا ترازو

روش انجام آزمایش

۱- ابتدا ۱۰۰ گرم آب سرد را در کالریمتر می‌ریزیم. در گرماسنج را روی آن قرار داده و دماسنج را درون آن قرار می‌دهیم و چند لحظه صبر می‌کنیم تا آب وگرماسنج، مبادله گرما انجام دهند و به یک دمای واحد برسند. این دما همان دمای اولیه گرماسنج و دمای اولیه آب سرد یعنی θ_2 می‌باشد (این دما بعد سه دقیقه بدست می‌آید)

۲- ۱۰۰ گرم آب در بشر ربخته و حرارت می‌دهیم تا به دمایی نزدیک جوش برسد (۸۵ درجه) اما نجوشد، زیرا جرم آب کم می‌شود. دماسنج را درون آب قرار می‌دهیم به‌گونه‌ای که با دست و دیواره بشر در تماس نباشد θ_1 =85 خواهد بود.

۳- آب داغ موجود در بشر را روی آب سرد موجود در کالریمتر می‌ریزیم. در گرماسنج را بسته و دماسنج را در آن قرار می‌دهیم. دما درحال تغییرات است. منتظر می‌مانیم که دماسنج یک عدد ثابت را نشان دهد (سه دقیقه بعد دما را می‌خوانیم) این دما همان دمای تعادل یا θ_T است.

٤- در انتها با قرار دادن مقادیر در رابطه زیر ، A=mc را محاسبه می‌کنیم.

$$m_1c(\theta_T-\theta_1)+m_2c(\theta_T-\theta_2)+mc(\theta_T-\theta_2)=0 \qquad (۹-۱)$$

✤ آزمایش شماره ۱۰: تعیین گرمای ویژه جسم

هدف آزمایش
تعیین گرمای ویژه فلز

وسایل موردنیاز
گرماسنج (ظرفیت گرمایی آن محاسبه شده است.)، جسم فلزی، ۲عدد دماسنج، ترازو، بشر، چراغ گاز، سه پایه، توری سیمی، انبر، دست گیره

روش انجام آزمایش

۱- ۱۰۰گرم آب (معادل ۱۰۰سی سی) درون گرماسنج بریزید و صبر کنید تا دمای گرماسنج و آب یکی شود. در این مرحله در گرماسنج باید بسته باشد و دماسنج باید در آن قرار داده شده باشد.

۲- جسم فلزی را به‌عنوان جرم M_2 در نظر گرفته، وزن آن را با ترازو اندازه می‌گیریم.در صورتی که وزن آن روی خودش نوشته شده باشد دیگر نیازی به ترازو نیست.

۳- جسم فلزی را درون بشر قرار داده و مقداری آب درون آن بریزید و دماسنج را درون آن قراردهید. با همزن آب درون بشر را هم بزنید تا تمام آب هم‌دما شود.

٤- بشر را روی چراغ گازی که روی آن توری سیمی قرار دارد قراردهید و آب درون بشر را به کمک همزن هم بزنید. دما را به ۸۵ درجه برسانید.

۵- چراغ گاز را خاموش کنید.هم‌زمان دمای آب درون گرماسنج θ_1 و دمای آب گرمی که جسم فلزی در آن است θ_2 را با دماسنج‌های مخصوص خودشان اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

٦- جسم داغ را توسط انبر به‌صورت سریع درون آب موجود در کالریمتر بیاندازید و در آن را ببندید

۷- آب درون کالریمتر را هم بزنید و دمای تعادل (θ_T) را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۸- با استفاده از معادله ، ظرفیت گرمایی جسم مجهول را به‌دست آورید.

$$A(\theta_T - \theta_1) + M_1 c(\theta_T - \theta_1) + M_2 c(\theta_T - \theta_2) = 0$$

مراجع

- فیزیک دانشگاهی،هیو.د.یانگ و راجر فریدمن ،ترجمه فضل اله فروتن،مرکز نشر علوم دانشگاهی۱۳۷۸
- فیزیک حرارت وشاره، روبرت رزنیک، دیویدهالیدی، کنث اس.کرین، ترجمه حمیدرضارضایی‌نیا، خلیل باغانی، فاطمه خبوشانی،انتشارات خراسان۱۳۸۵