



گروه فیزیک دانشگاه کوثر

دستور کار آزمایشگاه

فیزیک پایه ۱

تهیه و تنظیم:

مرضیه گلی

تاریخ آخرین ویرایش: پاییز ۱۳۹۷



فهرست مطالب :

آزمایش ۱ : آشنایی با وسایل اندازه گیری.....	۱۳
آزمایش ۲: تعیین ثابت فنرها.....	۲۱
آزمایش ۳: تعیین ضریب اصطکاک.....	۲۸
آزمایش ۴: اندازه گیری شتاب گرانش با استفاده از آونگ ساده.....	۳۳
آزمایش ۵ : ماشین آتوود.....	۳۶
آزمایش ۶: حرکت پرتابی.....	۴۰
آزمایش ۷ : تعادل نیروها.....	۴۴
آزمایش ۹ : بررسی قوانین حرکت با استفاده از ریل هوا.....	۴۹
آزمایش ۹: سقوط آزاد.....	۵۵
آزمایش ۱۰: آونگ کاتر.....	۵۷
آزمایش ۱۱: آونگ مرکب.....	۶۰
آزمایش ۱۲ : بررسی حرکت تقدیمی ژيروسکوپ.....	۶۵
پیوست: رسم نمودار با اکسل.....	۶۸



«باسمه تعالی»

جزوه ای که هم اکنون در اختیار شماست به منظور آمادگی دانشجویان رشته های فنی و مهندسی و علوم پایه جهت حضور در آزمایشگاه فیزیک ۱ تدوین شده است. این جزوه همچنین برای سایر رشته هایی که در آن ها فیزیک اهمیت دارد، مناسب است.

جزوه حاضر شامل ۱۲ آزمایش مربوط به مباحث مکانیک می باشد که در آن تمامی مطالب موردنیاز برای آمادگی و حضور دانشجویان در آزمایشگاه به صورت مفصل، به گونه ای بیان شده است تا دانشجو با اطلاعات اولیه فیزیک پایه ۱ و بدون نیاز به منابع اصلی، اشراف بسیار خوبی به مباحث تئوری آزمایش ها پیدا کند.

یقینا هر اثری توأم با خطایی است، لذا از تمامی صاحب نظران و دانشجویان تقاضا دارم هرگونه اشکالی را به اینجانب اطلاع دهند.

با آرزوی موفقیت

مرضیه گلی (کارشناس آزمایشگاه های فیزیک دانشگاه کوثر)

نحوه نگارش گزارش کار آزمایشگاه:

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

یک گزارش آزمایش باید دارای بخش های زیر باشد:

- صفحه نخست شامل عنوان آزمایش، نام، نام خانوادگی و شماره دانشجویی آزمایشگر، تاریخ انجام آزمایش و گروه ثبت نامی
- موضوع آزمایش
- هدف از انجام آزمایش
- مقدمه (کوتاه)
- تئوری (کوتاه)؛ در صورتی که لازم به ذکر مطلبی از جزوه و یا کتابی می باشد با یک جمله منظور خود را بیان کرده و برای تفصیل به مرجع مورد نظر ارجاع دهید.
- نحوه انجام آزمایش و نکاتی که باید در حین انجام آزمایش مورد توجه قرار گیرند (بسیار کوتاه)
- رسم نمودارها، تحلیل دقیق داده ها و تحلیل رفتار منحنی ها در نواحی مختلف با توجه به خواسته های آزمایش
- محاسبه خطاها (انحراف معیار میانگین) و دلایل بروز خطا
- ارائه راهکارهای مناسب جهت بهبود شرایط آزمایش
- پاسخ به سئوالات
- جداول داده های ثبت شده

باید توجه داشت که تمامی واحدها بر حسب SI آورده شده و هر کمیتی با واحد مورد نظر آن ذکر شود. برای نوشتن گزارش باید ارقام بامعنی در محاسبات و ارائه نتایج مورد توجه قرار گیرد.

نکته:



در گزارش کارهای فیزیک پایه تمامی نمودارها یا بصورت دستی و بر روی کاغذ میلیمتری با مقیاس بندی مناسب رسم می شوند و یا با نرم افزارهای رسم نمودار (Excel, origin, matlab) رسم خواهد شد.

دقت نمایید که در رسم نمودارهای خطی، لزوماً نباید تمام نقاط را به صورت مستقیم به یکدیگر متصل نمود، بلکه باید بهترین خط عبوری که نزدیکترین فاصله را از نقاط داشته باشد، ترسیم شود.

با توجه به مقیاس بندی‌های متفاوت و نوع کمیت‌های مختلف محورهای افقی و عمودی، شیب خط باید از روی معادله خط محاسبه گردد و شیب هندسی خط مورد نظر نیست. بنابراین از محاسبه و گزارش شیب هندسی اجتناب گردد.

رسم نمودار :

۱- عنوان نمودار

۲- **تعیین محورهای مختصات :** بهتر است طول و عرض کاغذ را متناسب با بازه تغییرات هر کمیت در جدول و نیز دقت داده

ها انتخاب کنید. نام هر محور همراه با واحد کمیت را در کنار آن بنویسید.

۳- **تعیین مبدا محورها :** با توجه به کمترین مقدار هر کمیت می توانید مبدا مناسبی برای هر محور تعیین کنید. لزومی

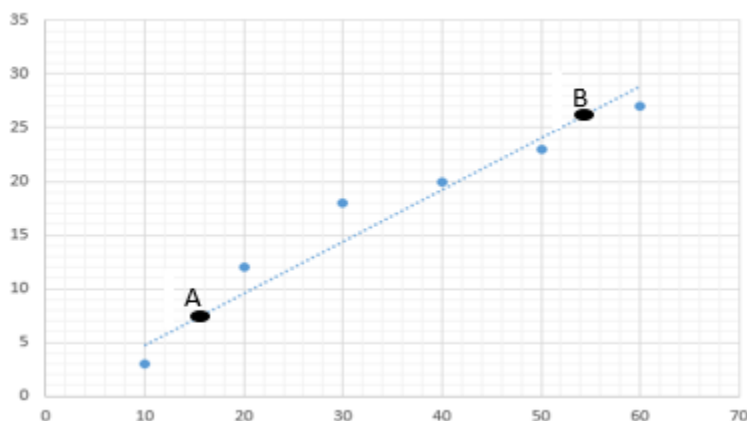
ندارد که مبدا هر دو محور یکسان باشد و نیز از صفر شروع شود. (بجز نمودارهایی که عرض از مبدا آنها بایستی از روی نمودار محاسبه شود).

۴- **تعیین مقیاس :** با توجه به بازه تغییرات داده ها باید مقیاس مناسبی برای هر محور به طور جداگانه انتخاب کرد. مقیاس در امتداد هر محور معادل یک خانه میلی متری در امتداد آن محور است.

۵- **وارد کردن نقاط تجربی :** پس از مدرج کردن صفحه نمودار، نوبت به انتقال داده ها می رسد. هر زوج داده تجربی متناظر با یک نقطه در صفحه نمودار است.

۶- **رسم بهترین خط :** پس از نقطه یابی نوبت به رسم مناسب ترین خط می رسد، خط محاسباتی باید طوری رسم شود که

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



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

منطبق ها آن بر یا نزدیک تجربی، های داده به اگر اما نیستند، منطبق شده گیری اندازه های داده از یکی بر حتما نقاط این لزوما شوند، محاسبه خطای شیب راحت تر و دقت آزمایش بالاتر خواهد بود.

اصول اندازه گیری و محاسبه خطا

هدف از انجام هر آزمایش اندازه گیری یک و یا چند کمیت قابل اندازه گیری است. اندازه گیری کمیات واقعی الزاماً همراه با مقداری خطا می باشد که این خطاها به پنج دسته تقسیم می شوند:

الف) خطاهای سیستماتیک

ب) خطاهای دستگاهی

ج) خطاهای تصادفی

د) خطاهای شخصی

ه) خطاهای ناشی از ماهیت کمیت مورد اندازه گیری

الف) خطای سیستماتیک

خطای سیستماتیک در مقابل خطای تصادفی قرار دارد، به این معنا که با تکرار اندازه گیری در شرایط قبلی، خطای سیستماتیک تغییری نکرده و همان مقدار خطا ظاهر خواهد شد. این خطا به علت عدم دقت وسایل اندازه گیری ناشی از شرایط متفاوت کاری با شرایط کالیبراسیون آنهاست؛ مثلاً اگر دمای کاری یک وسیله اندازه گیری با دمای کالیبراسیون آن متفاوت باشد، به شرطی که دما در اندازه گیری آن کمیت تأثیرگذار باشد، در اندازه گیری این کمیت توسط دستگاه خطایی



بروز خواهد کرد. اصولاً مقدار خطای سیستماتیک می‌تواند مطلق باشد، یعنی در هر اندازه‌گیری مقدار ثابتی باشد و یا وابسته به کمیت اندازه‌گیری شده باشد.

ب) خطای دستگاهی

به علت فرسایش و یا خرابی دستگاه و یا استفاده از دستگاه اندازه‌گیری در محدوده‌ای خارج از محدوده کاری دستگاه، ممکن است دقت اندازه‌گیری کاهش یابد. بعضی اوقات در اثر مقایسه با سایر دستگاهها می‌توان میزان خطا را تا حدودی تشخیص داد و در محاسبه‌ها منظور کرد. برخی اوقات هم می‌توان با قرائت صفر دستگاه (جایی که باید کمیت مورد اندازه‌گیری صفر و یا مقدار معلومی باشد) خطای اندازه‌گیری را تشخیص داد و این خطا را از نتایج حذف کرد. خطای دستگاهی همچنین به علت محدود بودن دقت دستگاه اندازه‌گیری نیز بروز می‌کند؛ مثلاً اگر یک ترازو بتواند جرم اجسام را با دقت $\pm 0.1g$ نمایش دهد، عدم قطعیت در قرائت هر توزین تا این مقدار اجتناب ناپذیر خواهد بود. در دستگاههای اندازه‌گیری رقمی (دیجیتالی) دستیابی به خطای کمتر از خردترین مقدار قابل اندازه‌گیری دستگاه، با یک بار اندازه‌گیری غیرممکن است، درحالیکه در برخی دستگاههای آنالوگ می‌توان با تقریب‌هایی خطای اندازه‌گیری ناشی از این مورد را کاهش داد. معمولاً با افزایش دفعات اندازه‌گیری و میانگین‌گیری از آنها می‌توان این خطا را کاهش داد.

ج) خطای تصادفی

خطاهای تصادفی در مقابل خطاهای سیستماتیک قرار دارند، به این معنی که میزان خطای تصادفی در هر بار اندازه‌گیری غیر قابل پیش‌بینی است. این نوع خطاها در اثر اتفاقاتی بروز می‌کند که در هر اندازه‌گیری تکرار نمی‌شود و یا میزان تأثیرگذاری آن در نتایج اندازه‌گیری در هر بار متفاوت است، مثل نوسانات ولتاژ برق یا بروز نوفه (نویز) یا وجود ضربه و یا ارتعاشات زمین و غیره. در این گونه موارد می‌توان با تکرار اندازه‌گیری و حذف نتایجی که خیلی با نتایج دیگر فاصله دارند و میانگین‌گیری از بقیه نتایج این گونه خطاها را حذف کرد و یا کاهش داد.

د) خطاهای شخصی

این نوع از خطاها بخاطر وجود واسط انسانی در اندازه‌گیری کمیات بوجود می‌آید. ممکن است آزمایشگر در قرائت نتایج اشتباه کند، مثلاً مقیاس اندازه‌گیری را اشتباه در نظر بگیرد و یا حتی اشتباهات کلی در قرائت نماید؛ همچنین ممکن است آزمایشگر در آماده‌سازی و یا چینش دستگاه اندازه‌گیری اشتباه کند، مثلاً در طیف‌گیری یک نمونه گازی خطوط طیفی را اشتباه در نظر بگیرد. این نوع از خطاها معمولاً با افزایش دقت و مهارت آزمایشگر و نیز تکرار آزمایش و مقایسه نتایج با هم کاهش می‌یابد.

ه) خطاهای ناشی از ماهیت کمیت مورد اندازه‌گیری

غالباً مقدار واقعی کمیات فیزیکی با هر دقت دلخواهی دست نیافتنی است، به این معنا که بروز خطا، نه به علت دستگاه اندازه‌گیری و شخص اندازه‌گیرنده، بلکه بدلیل ماهیت پدیده اندازه‌گیری و برهمکنش دستگاه اندازه‌گیری و پدیده مورد مطالعه، بروز خطا اجتناب ناپذیر است. این خطاها که در اندازه‌گیری‌های بسیار دقیق ظاهر می‌شوند، بدلیل اثرات کوانتومی این پدیده‌هاست. این نوع از خطا را می‌توان جزو خطاهای تصادفی دسته‌بندی کرد.

محاسبه خطای اندازه‌گیری:

مقدار واقعی یک کمیت دور از دسترس است و ما را از آن اطلاعی نیست و برای بدست آوردن آن یک بار اندازه‌گیری کافی نیست و به دفعات باید اندازه‌گیری تکرار شود. در صورتیکه مقادیر بدست آمده تقریباً یکسان باشد، لزومی ندارد که اندازه‌گیری را زیاد تکرار کرد، ولی اگر اختلاف زیادی بین آنها وجود داشته باشد با تکرار زیار باید از حدود تغییرات اندازه‌ها مطمئن شد. میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده محتملترین مقدار کمیت است. موقعی که تعداد اندازه‌گیری‌ها کم باشد، حداکثر انحراف از میانگین، میزان خطا محسوب می‌شود، درحالیکه اگر تعداد اندازه‌گیری‌ها چندین بار تکرار شود، میانگین انحراف‌ها را محاسبه و تفاوت آن را با میانگین مقدار اندازه‌گیری شده به عنوان خطا منظور می‌کنیم.

اگر اندازه‌گیری n با تکرار شود و نتایج برابر $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ بدست آید، محتملترین مقدار $\bar{x}$ که میانگین این اندازه‌گیری‌ها می‌باشد برابر است با :

$$\bar{x} = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

خطای مطلق

تفاضل مقدار میانگین با یکی از نتایج بدست آمده خطای مطلق نامیده شده و با Δx نمایش داده می‌شود:

$$\Delta x = |\bar{x} - x_i| \quad (2)$$

که در آن i می‌تواند هر کدام از مقادیر ۱ تا n را به خود بگیرد. علامت قدرمطلق نشان می‌دهد که خطای مطلق بدون علامت است. چون باید کمیت گزارش شده نشان دهنده بیشینه خطای ممکن در یک اندازه‌گیری باشد، بنابراین در عمل، خطای مطلق بیشینه محاسبه می‌شود و با $\Delta \bar{x}$ نشان می‌دهند. $\Delta \bar{x}$ تفاضل مقدار میانگین با بیشترین یا کمترین مقدار بدست آمده است.

$$\Delta \bar{x} = |\bar{x} - x_i| \quad (3)$$



که در آن x_i کمینه یا بیشینه مقدار کمیت مورد اندازه‌گیری است. پس برای منظور کردن بیشینه خطا، کمیت مورد اندازه‌گیری بصورت زیر گزارش می‌شود:

$$x = \bar{x} \pm \Delta \bar{x} \quad (۴)$$

خطای نسبی

با در دست داشتن مقدار خطای مطلق، به دقت آزمایش نمی‌توان پی برد، زیرا باید دید که این میزان خطا، مربوط به چه اندازه کمیت است، لذا خطای نسبی را باید بدست آورد. خطای نسبی برابر است با:

$$\text{خطای نسبی} = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \quad (۵)$$

روش محاسبه خطا در چهار عمل اصلی:

برای محاسبه خطای عبارات مورد نظر که به صورت جمع، تفریق، ضرب و یا تقسیم دو و یا چند کمیت و یا تلفیقی از آنها نوشته شده است از روشهای زیر استفاده می‌شود.

الف) محاسبه خطا در عمل جمع

هر گاه کمیتی مانند x برابر با مجموع چند کمیت دیگر مانند $a, b, c, \dots$ باشد، خطای مطلق و نسبی آن به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} x &= a + b + c + \dots \\ x + \Delta x &= (a + \Delta a) + (b + \Delta b) + (c + \Delta c) + \dots \quad (۶) \\ \Delta x &= \Delta a + \Delta b + \Delta c + \dots \end{aligned}$$

همچنین خطای نسبی مجموع چند کمیت از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a + b + c + \dots} + \frac{\Delta b}{a + b + c + \dots} + \frac{\Delta c}{a + b + c + \dots} \quad (۷)$$

ب) محاسبه خطا در عمل تفریق

اگر کمیتی مانند x حاصل تفریق دو کمیت دیگر مانند a و b که با اندازه‌گیری بدست آمده‌اند باشد، خطای مطلق و خطای نسبی کمیت x به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} x &= a - b \\ x + \Delta x &= (a + \Delta a) - (b + \Delta b) \quad (۸) \\ \Delta x &= (\Delta a + \Delta b) \end{aligned}$$

چون در محاسبه خطا باید بیشینه خطای ممکن محاسبه شود، علامت منفی به مثبت تغییر داده شده است.

خطای نسبی حاصل تفریق دو کمیت برابر است با:

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{(a-b)} + \frac{\Delta b}{(a-b)} \quad (9)$$

ج) محاسبه خطای حاصل ضرب

در صورتیکه $x = a.b$ باشد، خطای مطلق برابر خواهد بود با:

$$(x + \Delta x) = (a + \Delta a).(b + \Delta b) = a.b + a.\Delta b + b.\Delta a + \Delta a.\Delta b \quad (10)$$

چون Δa و Δb مقداری کوچکتر نسبت به مقادیر a و b هستند، لذا از حاصلضرب آنها صرفنظر می کنیم.

بنابراین خطای مطلق برابر است با:

$$\Delta x = a.\Delta b + b.\Delta a \quad (11)$$

و خطای نسبی برابر

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \quad (12)$$

به همین ترتیب اگر $x = a.b.c$ باشد، خطای مطلق برابر خواهد بود با:

$$\Delta x = b.c.\Delta a + a.c.\Delta b + a.b.\Delta c \quad (13)$$

و خطای نسبی آن برابر:

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} \quad (14)$$

خواهد بود.

د) خطای خارج قسمت

در صورتیکه $x = \frac{a}{b}$ باشد خطای مطلق برابر خواهد بود با:

$$\Delta x = \frac{b.\Delta a + a.\Delta b}{b^2} \quad (15)$$

و خطای نسبی



$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \quad (15)$$

خواهد بود. علامت منفی باز به این دلیل تبدیل به مثبت شده که چون علامت Δa و Δb معلوم نیست، برای محاسبه حداکثر خطا باید خطاهای نسبی دو جمله را با هم جمع کرد.

محاسبه خطا به روش لگاریتم گیری

هرگاه کمیتی مانند x داشته باشیم که برحسب متغیری مانند u تغییر می کند و خود u نیز تابعی از چند متغیر دیگر باشد یعنی داشته باشیم :

$$x = u \quad (16)$$

اگر x کمیت مورد نظر در یک آزمایش باشد که هدف تعیین مقدار و خطای اندازه گیری آن است، برای این کار از طرفین رابطه فوق لگاریتم طبیعی گرفته و سپس مشتق می گیریم:

$$\ln x = \ln u \Rightarrow \frac{dx}{x} = \frac{du}{u} \quad (17)$$

و با تبدیل dx به Δx خطای نسبی آزمایش بدست خواهد آمد:

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta u}{u} \quad (18)$$

از آنجا که مقدار کمیت x از طریق آزمایش تعیین می شود، با جایگذاری آن در رابطه فوق، خطای مطلق و پس از آن مقدار واقعی کمیت x بدست خواهد آمد.

روش نوشتن اعداد به صورت نماد علمی

در بررسی های علمی، اغلب عددهای بسیار بزرگ و بسیار کوچک استفاده می شود. برای مثال، سرعت نور در خلاء 29979000000 cm/s برای ساده کردن چنین عملیات پرزحمتی، از نمادگذاری علمی استفاده می شود. برای نوشتن یک عدد به طریق نمادگذاری علمی آن را به صورت

$$a \times 10^n \quad (19)$$

می نویسیم که در آن a ، قسمت اعشاری، عددی است با یک رقم صحیح در سمت چپ ممیز و عددهای دیگر در سمت راست آن و n نمای 10 است و می تواند عدد حقیقی مثبت، منفی و یا صفر باشد. برای تبدیل یک مقدار به صورت بالا، جای ممیز اعشاری را آن قدر تغییر می دهیم تا فقط یک رقم در سمت چپ آن باقی بماند. به ازای هر رقمی که جای



این ممیز را به سمت چپ می‌بریم، n را باید یک واحد افزایش دهیم و به ازای هر رقمی که آن را به سمت راست می‌بریم، n را باید یک واحد کاهش دهیم. برای مثال

$$29979000000 \text{ cm} / \text{s} = 2.9979 \times 10^{10} \text{ cm} / \text{s}$$

$$0.0000000075 \text{ cm} = 7.5 \times 10^{-9} \text{ cm}$$

۱ آزمایش ۱: آشنایی با وسایل اندازه‌گیری

هدف:

آشنایی و کار با وسایل اندازه‌گیری طول، ارتفاع، انحنا، جرم، چگالی و زمان

مبانی نظری آزمایش:

در مکانیک کلاسیک باید بتوان هویت یک ماده را شناسایی کرد و موقعیت فضایی و زمانی آن را تشخیص داد تا به این وسیله بتوان وضعیت گذشته و آینده آن را نسبت به فضا و زمان تعیین نمود. بدین منظور جهت مطالعه روی یک ماده، باید بتوان ابعاد آن، نوع ماده (جامد، مایع، گاز) وضعیت در حال سکون یا حرکت جسم و وضعیت زمانی آن را تعیین نمود. لذا نیاز به ابزار اندازه‌گیری بعد جسم به کمک متر، کولیس، ریزسنج (میکرومتر)، انحناسنج (گوی‌سنج) داریم.

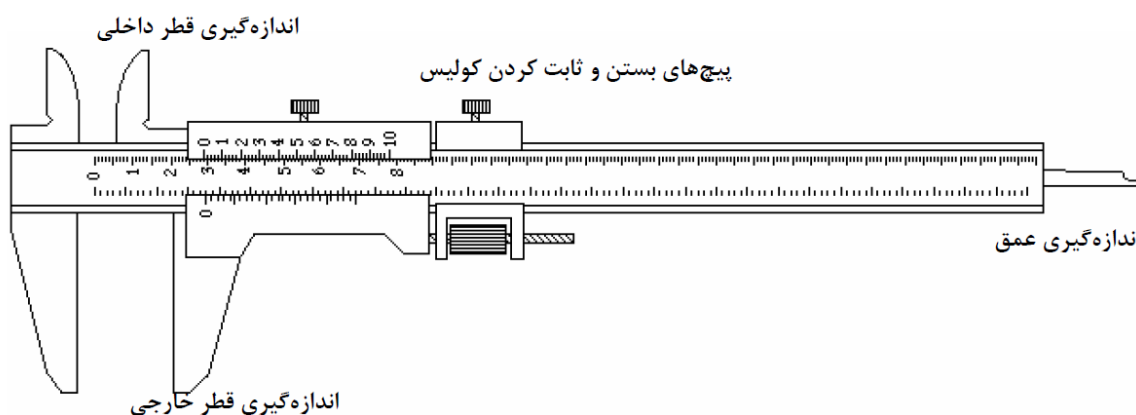
ابزار مورد نیاز:

خط‌کش، کولیس، ریزسنج، گوی‌سنج، زمان‌سنج.

روش آزمایش:

الف) اندازه‌گیری به وسیله کولیس

کولیس یک وسیله‌ی اندازه‌گیری است که معمولاً نوع آموزشی آن چوبی یا پلاستیکی و نوع کاربردی آن از جنس فلز استیل ضد زنگ است. از کولیس به منظور اندازه‌گیری ضخامت یا طول خارجی جسم، ضخامت یا طول داخلی جسم و عمق یا ارتفاع یک جسم استفاده می‌شود (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱: اجزای مختلف کولیس



قسمت‌های مختلف کولیس عبارتند از:

۱- خط‌کش: که بدنه اصلی کولیس است و بر حسب سانتیمتر و میلیمتر درجه‌بندی شده است و معمولاً ارقام روی آن بر حسب میلیمتر خوانده می‌شود.

۲- ورنیه: که روی قسمت متحرک نصب گردیده و دارای درجه‌بندی است. نکته مهم اینکه دقت اندازه‌گیری کولیس-های معمولی موجود تا $0/1$ یا $0/2$ یا $0/5$ میلیمتر می‌باشد. این دقت معمولاً بر روی دستگاه ثبت است. دقت کولیس به فاصله درجه‌بندی‌های روی ورنیه دستگاه مربوط می‌شود.

۳- فک‌ها یا شاخک‌های خارجی: که به منظور اندازه‌گیری قطر یا ضخامت خارجی، این دو فک بر لبه‌های خارجی جسم مورد نظر منطبق می‌شوند.

۴- فک‌ها یا شاخک‌های داخلی (کوچکتر): که به منظور اندازه‌گیری قطر یا ضخامت داخلی، این دو فک بر لبه‌های داخلی جسم مورد نظر منطبق می‌شوند.

۵- تیغه انتهایی یا تیغه عمق‌سنج: که نوک آن در عمق جسم مورد نظر قرار داده می‌شود و لبه کولیس نیز بر لبه جسم منطبق می‌شود تا عمق یا ضخامت جسم اندازه‌گیری شود.

۶- پیچ تثبیت دستگاه: که معمولاً روی ورنیه دستگاه قرار دارد و با سخت کردن آن فک متحرک کولیس ثابت خواهد شد تا در هنگام قرائت عدد فک متحرک نسبت به فک ثابت دستگاه حرکت نکنند.

۷- زائده زیر ورنیه: جهت تماس بهتر با دست و راحت حرکت دادن فک متحرک نسبت به فک ثابت.

نحوه مدرج نمودن کولیس و به عبارتی دقت اندازه‌گیری کولیس به این ترتیب است که اگر یک طول مشخص روی خط‌کش کولیس n قسمت مساوی تقسیم شده باشد همان طول ورنیه به $(n-1)$ قسمت مساوی تقسیم شده است. اگر درجه‌بندی خط‌کش را بر حسب میلیمتر در نظر بگیریم بنابراین هر قسمت روی ورنیه $\frac{n-1}{n}$ میلیمتر خواهد بود. هر قسمت ورنیه به اندازه $\frac{1}{n} = 1 - \frac{n-1}{n}$ میلیمتر کمتر از یک میلیمتر است. بنابراین حساسیت یا دقت کولیس برابر $\frac{1}{n}$ خواهد بود.

در حقیقت کولیس همواره بر اساس مقایسه بین دو دستگاه متریک که یکی روی خط‌کش و دیگری روی ورنیه قرار گرفته عمل می‌کند.

در عمل به منظور اندازه‌گیری فاصله دو قسمت متقارن روی فک ثابت و فک متحرک کولیس را بر سطح جسم منطبق می‌کنند. مثلاً دو فک داخلی یا دو فک خارجی و یا میله باریک انتهایی مربوط به قسمت متحرک را با میله انتهایی خط‌کش قسمت ثابت.

در عمل دو لبه کولیس را به سطح جسم مماس و پیچ قسمت تثبیت دستگاه را محکم می‌کنیم. سپس در هر حالت عدد از روی کولیس و در دو مرحله قرائت می‌شود.

در مرحله اول از روی خط کش کولیس و در مرحله دوم از روی ورنیه به این ترتیب که ابتدا نگاه می‌کنیم که خط صفر ورنیه بین کدامیک از دو خط کش قرار دارد و از روی خط کش دستگاه عدد کوچکتر را یادداشت می‌کنیم. در مرحله دوم یک خط و بهترین خط منطبق ورنیه بر خط خط کش را پیدا کرده و سپس از صفر ورنیه تا آن خط منطبق، روی ورنیه تعداد فواصل را شمرده و در دقت کولیس ضرب می‌کنیم و با عدد قبلی که از روی خط کش و بر حسب میلیمتر قرائت شد جمع می‌کنیم. بدین ترتیب قرائت ما کامل شده است.

برای مثال : با توجه به شکل، صفر ورنیه از شاخص ۳۴ ام خط کش اصلی که معادل ۳۴ میلی متر است گذشته، و شاخصی از ورنیه که بر شاخص خط کش اصلی منطبق است عدد ۶ ورنیه است که با توجه به تقسیمات ورنیه که بین ۰ تا ۱ به پنج قسمت تقسیم شده است عدد ۶ معادل ۳۰ است، این عدد را در دقت کولیس ضرب کرده و به این ترتیب داریم:

$$34 + (30 \times 0.02) = 34.6$$



حالت خاص: حالت خاص در کولیس در صورتی اتفاق می‌افتد که دو خط ابتدا و انتهای ورنیه دقیقاً بر دو خط خط-کش منطبق باشد. در این صورت عدد بدون اعشار خواهد بود. مثلاً ۲۳/۰۰ یا ۱۲/۰۰ میلیمتر.

در کولیس ۰/۱ میلیمتر هر فاصله روی ورنیه نماینده ۰/۱ میلیمتر و در کولیس ۰/۰۲ میلیمتر هر فاصله روی ورنیه نماینده ۰/۰۲ میلیمتر خواهد بود و به همین ترتیب ...

به وسیله کولیسی که در اختیار دارید طول و عرض و عمق جسمی را که در اختیار دارید حداقل سه بار اندازه‌گیری کرده

جدول ۱-۱) را کامل کنید.

جدول ۱-۱: نتایج اندازه گیری کولیس

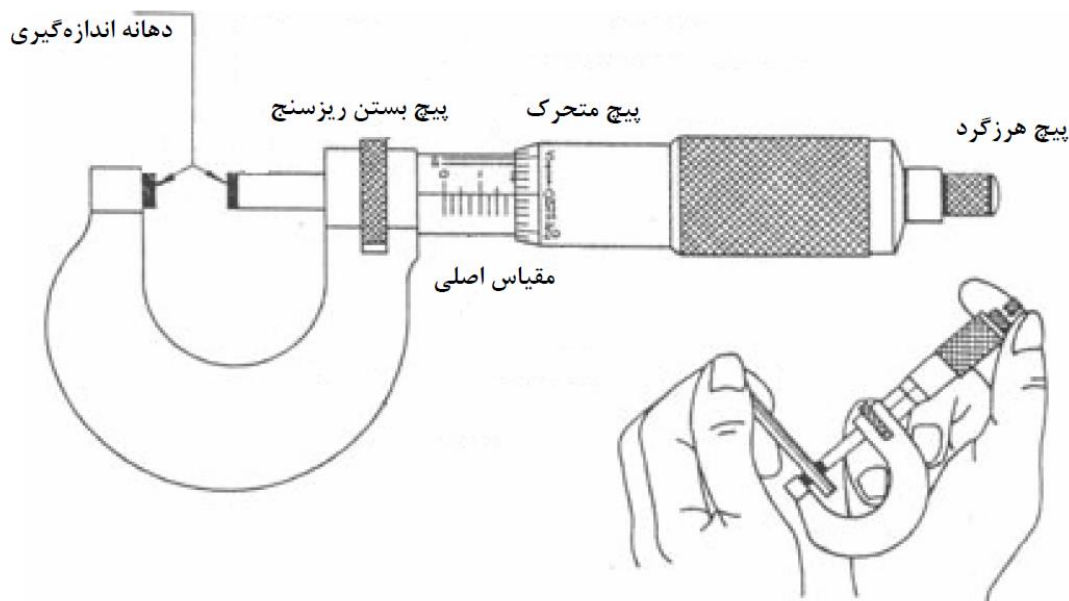
شماره آزمایش	طول (m)	عرض (m)	ضخامت - عمق (m)	دقت کولیس	حجم (m ³)
۱					
۲					
۳					
	طول میانگین	عرض میانگین	ضخامت میانگین		

ب) اندازه گیری به وسیله ریزسنج (میکرومتر)

ریزسنج ابزار اندازه گیری اجسامی با ضخامت بسیار کم در ۰/۰۱ میلی متر است. مطابق شکل (۱-۲) قسمت های مختلف ریزسنج عبارت است از:

۱- قسمت کمانی شکل، ۲- قسمت ثابت یا سندان. ۳- قسمت متحرک که محور متحرک در آن قرار دارد. ۴- محور ثابت که مطابق شکل ۲ دارای یک خط کسری است که معمولاً در یک طرف آن اعداد بر حسب میلی متر حک شده است و در طرف دیگر خط کسری، درست در فاصله بین میلی مترها خطوط مربوط به فواصل نیم میلی متری حک شده است. ۵- محور متحرک که دارای ۵۰ عدد است، و خطوطی که روی آن حک شده است نماینده یا معرف فواصل صدم میلی متر هستند. ۶- قسمت عاج دار روی محور متحرک جهت تماس بهتر با انگشتان. ۷- پیچ انتهایی محور متحرک که به آن پیچ هرزگرد و یا جفجغه ای نیز می گویند. ۸- ضامن نگهدارنده یا ثابت کننده محور متحرک نسبت به محور ثابت که عملی مشابه پیچ تثبیت کولیس انجام می دهد. در عمل جسمی که ضخامت آن کمتر از حداکثر فاصله بین دهانه های فک ثابت و متحرک ریزسنج باشد بین دو فک قرار داده و پیش روی اولیه محور متحرک بوسیله قسمت عاج دار روی محور متحرک بعمل می آید. زمانی که جسم به فک متحرک کاملاً چسپیده بود و محور متحرک به حد کافی به سطح جسمی که هدف اندازه گیری ضخامت آن است نزدیک شده بود، بقیه پیشروی محور متحرک بوسیله پیچ هرزگرد بعمل می آید تا در لحظه تماس محور متحرک جسم

انرژی مکانیکی که به ریزسنج وارد می‌شود به دستگاه فشار نیاورد و دقت عمل آن را کم نکند. و با شنیدن صدای پیچ هزرگرد که مانند صدای برخورد دو گلوله فلزی به یکدیگر است یقین حاصل کنیم که هر دو محور ثابت و متحرک به سطح جسم رسیده و مماس بر آن می‌باشد.



شکل ۱-۲: ریز سنج و اصول کار با آن

عمل قرائت اعداد از روی ریزسنج نیز در دو مرحله به کمک دو دستگاه متریک که روی محور ثابت و محور متحرک نصب شده‌اند بعمل می‌آید:

یک دور کامل که محور متحرک نسبت به محور ثابت حرکت کند، محور متحرک مسافتی برابر $\frac{50}{100}$ یا 0.5 میلیمتر را طی کرده است. خطوط کمکی که نماینده 0.5 میلیمتر هستند روی محور ثابت حک شده‌اند. بدین منظور است که در فاصله دوران محور متحرک از هر میلیمتر تا میلیمتر بعدی مشخص می‌شود که آیا محور متحرک در فاصله 0 تا 0.5 میلیمتر اول حرکت خود است (در دور اول حرکت) یا در فاصله 0.5 تا 1.0 میلیمتر بعدی حرکت خود (دور دوم حرکت). چرا که محور متحرک نسبت به محور ثابت باید دو دور بزند تا یک میلیمتر پیشروی یا پسروی داشته باشد.

نحوه قرائت عدد از روی ریزسنج به شرح زیر است:

در مرحله اول آخرین عدد میلیمتر از روی محور ثابت که قابل رویت باشد قرائت و ثبت می‌شود. سپس نگاه می‌کنیم که آیا بعد از آن عدد میلیمتر از خطوط بعدی نماینده 0.5 میلیمتر روی محور ثابت مشاهده می‌شود یا خیر و اگر بود آنرا نیز در دنباله عدد اول یادداشت می‌کنیم. سپس در امتداد خط کسری روی محور ثابت عددی که روی محور متحرک مشاهده

می‌شود قرائت کرده و بر حسب صدم میلیمتر با عددی که در قسمت قبل قرائت شده جمع می‌کنیم و حاصل را بر حسب میلیمتر یادداشت می‌کنیم. مثلاً اگر بعد از عدد میلیمتر روی محور ثابت خط 0.5 میلیمتری مشاهده نشد: $6.00 + 0.13 = 6.13$. اگر بعد از عدد میلیمتری محور ثابت خط 0.5 میلیمتری مشاهده شد: $6.00 + 0.50 + 0.13 = 6.63$.

به عنوان مثال:



$$5.5 + (30 \times 0.01) = 5.80$$

حالت خاص

اگر لبه محور متحرک بر خطی از میلیمتر یا 0.5 میلیمتر محور ثابت منطبق بود و خط کسری روی محور ثابت درست در مقابل خط مربوط به عدد صفر محور متحرک قرار گرفته بود در این صورت عدد قرائت شده صحیح خواهد بود، مثلاً: 6.00mm و یا 6.50mm .

بوسیله ریزسنجی که در اختیار دارید ضخامت چند جسمی را که در اختیار دارید اندازه‌گیری کرده و جدول ۱-۲ را کامل کنید.

جدول ۱-۲: نتایج اندازه‌گیری ریزسنج

قطر گلوله	قطر سیم نازک	قطر تار مو	ضخامت کاغذ

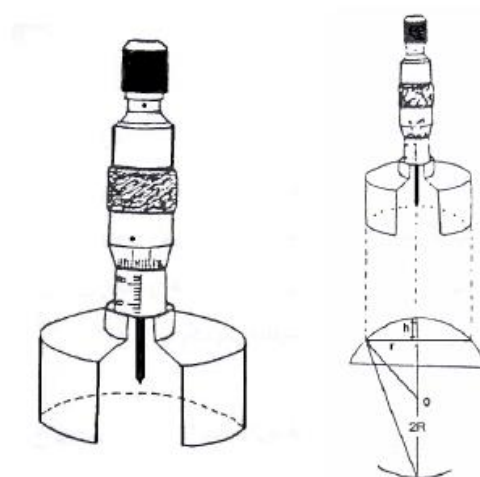
ب) اندازه‌گیری به وسیله انحناسنج یا گوی سنج (اسفرومتر)

گوی سنج وسیله‌ایست که برای اندازه‌گیری دقیق تقعر یا تحدب سطوح کروی (شعاع کره) و یا ضخامت مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ابزار از یک سه پایه ثابت، یک محور مرکزی متحرک و یک خط‌کش عمودی ثابت ساخته شده است (شکل ۴-۱). نحوه کار محور متحرک روی مهره اصلی که روی صفحه ثابت قرار دارد چرخیده و هر گام آن (دور کامل) برابر ۰/۵ میلی‌متر محور را جابجا می‌کند. یک صفحه که تا ۵۰ درجه‌بندی شده همراه محور چرخیده و مقدار دقیق جابجایی را نشان می‌دهد. به ازای یک گام محور صفحه مدرج به اندازه یک دور خط‌کش عمودی جابجا می‌شود. در این صورت عدد روی یک 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 هر گام محور ۰/۵ میلی‌متر باشد در این صورت کمترین مقدار قابل اندازه‌گیری ۰/۰۱ میلی‌متر خواهد بود.

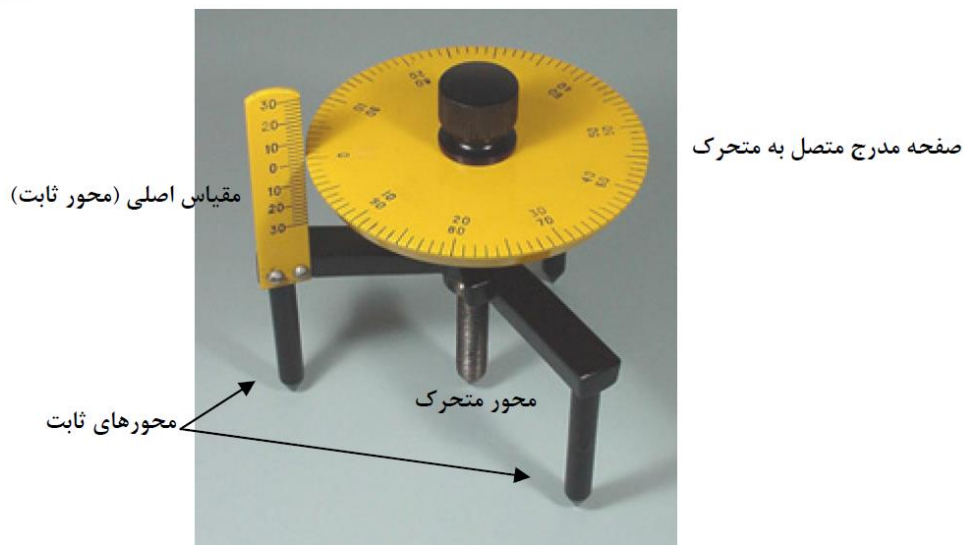
برای اندازه‌گیری تقعر یا تحدب سه پایه ثابت گوی سنج را روی جسم کروی قرار می‌دهیم. با چرخاندن محور متحرک، انتهای آن را بر سطح مورد نظر مماس می‌کنیم. در این وضعیت گوی سنج فاصله پایین‌ترین (یا بالاترین) نقطه سطح کروی مورد نظر را از صفحه سه پایه ثابت نشان می‌دهد. می‌توان نشان داد که شعاع سطح کروی مورد نظر (شعاع کره‌ای که سطح مورد نظر بخشی از آن است) عبارت است از:

$$R = \frac{r^2 + h^2}{2h}$$

که h مقدار خوانده شده از گوی سنج و r فاصله محور متحرک و پایه ثابت است.



شکل ۳: نمایی از یک گوی سنج



شکل ۴-۱: گوی سنج

تعیین تقعر شیشه ساعت: برای اندازه‌گیری تقعر ابتدا سه پایه ثابت گوی سنج را روی شیشه ساعت قرار داده و با چرخاندن محور متحرک انتهای آن را بر سطح مورد نظر مماس می‌کنیم. در این وضعیت گوی سنج فاصله بالاترین نقطه سطح شیشه ساعت از صفحه سه پایه ثابت h را نشان می‌دهد. h (اختلاف ارتفاع محورهای ثابت و متحرک گوی سنج) را بار اندازه‌گیری کرده و یادداشت کنید. فاصله محورهای ثابت و متحرک گوی سنج r را نیز اندازه‌گیری کرده و یادداشت کنید. شعاع انحنای ساعت را بدست آورید.

سوالات:

- ۱- یکاهای اصلی را نام برده و روش تعریف آن‌ها را بیان کنید؟
- ۲- اندازه‌گیری فاصله‌های بسیار بزرگ (فاصله کهکشان‌ها) و کوچک (فاصله‌های بین اتمی) چگونه است؟
- ۳- اندازه‌گیری طول موج و شدت نور مرئی با چه روش‌هایی انجام می‌شود؟
- ۴- کولیسی که دارای دقت 0.04 است، تقسیم بندی ورنیه آن چگونه است؟

۲ آزمایش ۲: تعیین ثابت فنرها

هدف:

تعیین ضریب ثابت فنرها با استفاده از تغییر طول فنر و با استفاده از ارتعاشات فنر، محاسبه ضریب ثابت فنرهای سری و موازی

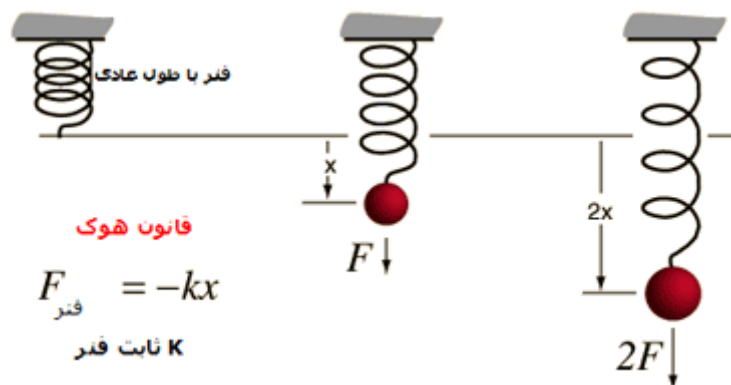
وسایل مورد نیاز: فنر، خط کش، پایه، وزنه های مختلف، کرنومتر.

تئوری آزمایش:

الف) تعیین ضریب ثابت فنرها

اگر به یک جسم قابل ارتجاع (مثلاً فنر) وزنه ای به جرم M آویزان کنیم نیرویی بر فنر وارد شده و فنر افزایش طول پیدا می کند و متقابلاً از طرف فنر نیرویی به وزنه وارد می شود که اگر از وزن فنر در مقابل وزن وزنه صرف نظر شود میزان این نیرو توسط قانون هوک مشخص می شود.

$$F = -kx \quad (۱)$$



شکل ۱-۲: تغییر طول فنر

در این رابطه F نیروی بازگرداننده ای است که از طرف فنر به جرم M وارد و سبب خنثی شدن نیروی وزن وزنه می شود، k ثابت کشسانی فنر و x افزایش طول فنر است (شکل ۱-۲). جسم را در این حالت الاستیک گویند چرا که اگر نیرو را حذف کنیم فنر به حالت اولیه برمی گردد. و مادامیکه نیرو از این حد تجاوز نکند این قانون صادق است، این حد را حد ارتجاع



یا الاستیک گویند. اگر نیرو از این حد تجاوز کند دیگر تغییرات نیرو و ازدیاد طول خطی نیست بلکه به صورت یک منحنی می‌باشد، در این حالت اگر نیرو حذف شود دیگر جسم به حالت اولیه برنمی‌گردد.

برای محاسبه ضریب ثابت یک فنر می‌توان از دو روش استفاده کرد:

۱- استفاده از تغییر طول فنر به ازای نیروهای متفاوت:

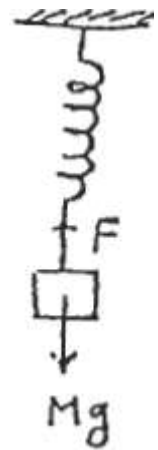
به یک فنر وزنه‌ای متصل می‌کنیم و آن را به آرامی پایین می‌آوریم تا به حال تعادل معلق بماند، در این حالت نیروی وارد بر فنر برابر وزن جسم است و داریم:

$$\sum F_y = 0 \quad (۲)$$

$$F + W = 0$$

$$-kx + mg = 0$$

$$x = \frac{g}{k} M \quad (۳)$$



بنابراین منحنی افزایش طول فنر به ازای وزنه‌های مختلف به صورت یک خط راست با شیب $\frac{g}{k}$ خواهد بود. البته باید توجه نمود که وزنه‌ها زیاد سنگین نباشد تا فنر خاصیت کشسانی خود را از دست بدهد.

۲) استفاده از ارتعاشات فنر:

اگر به یک فنر وزنه‌ای متصل کنیم و آن را از حالتی که فنر دارای طول آزادش می‌باشد رها کنیم، جسم شروع به نوسان می‌کند. برای نیروی وارد بر وزنه بر حسب افزایش فشردگی طول فنر داریم:

$$F = -kx$$

و از طرفی از دینامیک (قانون نیوتن) می‌توان نوشت:

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

بنابراین :



$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx$$

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

که این یک معادله دیفرانسیل مرتبه دوم است و مشابه معادله دیفرانسیل یک حرکت نوسانی ساده یعنی $\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$ می باشد که ω فرکانس زاویه ای نوسان می باشد بنابراین داریم:

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \quad \text{یا} \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

و از طرفی $\omega = \frac{2\pi}{T}$ بنابراین :

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

که در آن T زمان تناوب حرکت نوسانی جسم متصل به فنر است. با توجه به رابطه فوق اگر زمان تناوب حرکت نوسانی جسم متصل به فنر و جرم جسم متصل به فنر را داشته باشیم ضریب ثابت فنر بدست می آید.

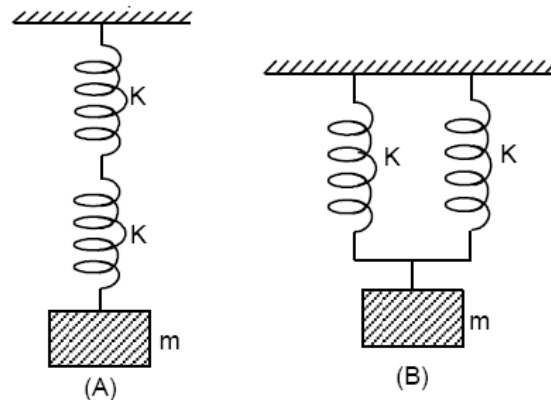
۱- بهم بستن فنرها بصورت سری و موازی

اگر دو فنر با ضرایب سختی k_1 و k_2 را بصورت سری بهم متصل کنیم ضریب سختی مجموعه از رابطه زیر بدست می آید:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \quad (۶)$$

و اگر همان دو فنر را بصورت موازی ببندیم ضریب سختی مجموعه برابر است با:

$$k = k_1 + k_2 \quad (۷)$$

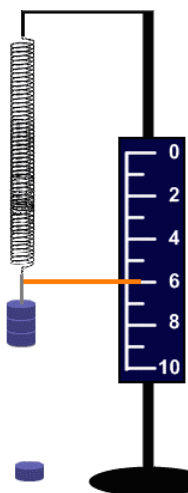


شکل ۲-۲: بستن فنرها به صورت سری و موازی

روش آزمایش:

۱- تعیین ثابت فنر

مطابق شکل ۲-۳ فنر را از شیار آویزان کنید خط‌کشی را که در انتهای آن یک میله نصب است بر روی پایه قرار داده و محکم نمایید و آنگاه مجموعه فنر و خط‌کش را به طور موازی در کنار هم قرار دهید. نقطه صفر یا مبداء را پیش از آویختن وزنه به فنر روی خط کش مشخص نمایید. پس از آویختن هر وزنه مقدار افزایش طول فنر را به ازای آن وزنه اندازه گرفته و در جدول ثبت نمایید. این آزمایش را برای فنرهای مختلف انجام دهید. با استفاده از مقادیر ثبت شده در جدول با استفاده از رابطه (۱) ضریب کشسانی فنرهای مختلف را بدست آورید. منحنی F (نیروی وزن بر حسب x حاصل از جرم M) را بر روی محورهای مختصات رسم نمایید. با برازش یک خط راست به داده‌ها و محاسبه شیب خط، ثابت سختی فنر را حساب کنید.



شکل ۲-۳: تعیین ثابت فنر



M(gr)	x_0 (طول اولیه فنر)	x_1 (طول ثانویه فنر)	Δx (تغییر طول)	k (N/m)	Δk	$\Delta k/k$	$\frac{\Delta k}{k} \times 100$
۵۰							
۱۰۰							
۱۵۰							
۲۰۰							
				$\bar{k} =$			

با استفاده از مقادیر k بدست آمده برای هر حال و k میانگین خطای مطلق و خطای نسبی را بدست آورید.

ب) مطابق جدول زیر وزنه های مختلف را به انتهای وزنه آویزان کرده و با کشیدن وزنه به اندازه یک تا دو سانتی متر از حالت تعادل آن را به نوسان درآورده و زمان ۱۵ نوسان کامل را اندازه بگیرید (با تقسیم زمان بدست آمده بر ۱۵ زمان یک نوسان کامل را بدست آورید) و جدول زیر را کامل کنید.

m (gr)	زمان ۱۵ نوسان	زمان یک نوسان	T^2	k (N/m)	Δk	$\frac{\Delta k}{k}$	$\frac{\Delta k}{k} \times 100$
۵۰							
۱۰۰							
۱۵۰							
۲۰۰							
				$\bar{k} =$			



ج) به هم بستن سری فنرها

دو فنری را که در بالا ضریب سختی شان را بدست آورده ایم با استفاده از پیچی بطور سری به هم متصل کنید و سپس با متصل کردن وزنه‌های ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ گرمی و استفاده از رابطه (۲) و با اندازه گیری دقیق افزایش طول فنر برای هر حالت k مجموعه را بدست آورید.

$W(N)$					
$X(M)$					
$K(N/M)$					
				$\bar{k} =$	

حال از رابطه (۶)، K را بدست آورده و با مقدار K میانگین بدست آمده از آزمایش مقایسه کنید.

د) به هم بستن موازی فنرها

دو فنر مشابه و هم طول را که قبلاً ضریب ثابت آن‌ها را بدست آورده اید انتخاب کرده و آن‌ها را به صورت موازی به هم متصل کنید و سپس با متصل کردن وزنه‌های ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ گرمی و استفاده از رابطه (۲) و با اندازه گیری دقیق افزایش طول فنر برای هر حالت k مجموعه را بدست آورید.

$W(N)$					
$X(M)$					
$K(N/M)$					
				$\bar{k} =$	

از رابطه (۷)، k را بدست آورده و با مقدار k میانگین بدست آمده از آزمایش مقایسه کنید.

سوالات :

۱- قانون هوک را شرح دهید؟

۲- کشسانی یعنی چه ؟ ثابت کشسانی را توضیح دهید کاربرد ثابت کشسانی چیست؟

۳- زمان تناوب فنری که بطور قائم نوسان می کند با کمیت های زیر چگونه تغییر می کند؟

الف - جرم متصل به انتهای فنر ب - دامنه نوسان فنر

ج - ثابت فنر د - شتاب ثقل

۴- ضریب ثابت فنر به چه عواملی بستگی دارد؟

۵- اگر جسم کوچک A به جرم m به انتهای فنری آویزان گردد آیا با یادداشت کردن و وضعیت نوک عقربه انتهای فنر برروی خط کش مدرج در دو حالت:

الف - وقتی که جسم A در هوا قرار دارد.

ج - وقتی که جسم A در آب قرار دارد

می توان چگالی جسم A را بدست آورد؟

۶- روابط (۶) ، (۷) ، (۸) ، (۹) را ثابت کنید.

۳ آزمایش ۳: تعیین ضریب اصطکاک

هدف:

تعیین ضریب اصطکاک جنبشی و ایستایی برای سطوح تماس افقی و شیبدار

ابزار مورد نیاز:

سطح شیبدار، جعبه‌های چوبی با سطوح مختلف، نخ، نقاله، ترازو

مبانی نظری:

هرگاه دو جسم بر روی یکدیگر حرکت نمایند، نیرویی مقاوم با حرکت دو سطح بر روی هم مخالفت می‌کند، این نیرو را اصطکاک گویند. منشا نیروی اصطکاک پیوندهای الکتروستاتیکی است که در مناطق تماس دو سطح بر روی هم و در نقاطی که برجستگیها و فرورفتگی‌های دو سطح به محدوده فاصله بین مولکولی یکدیگر نزدیک می‌شوند، ایجاد می‌گردد. در واقع نقاط تماس اجسام در مقیاس میکروسکوپی جوش سرد می‌خورند و گسیخته شدن آنها نیازمند نیرویی در جهت مورد انتظار برای حرکت می‌باشد. از این مقاومت جسم در برابر حرکت به عنوان اصطکاک یاد می‌شود. جعبه‌ای را بر روی یک سطح صاف در نظر بگیریم، هرگاه نیروی کوچکی در راستای افق به آن وارد سازیم، جعبه به حرکت در نمی‌آید که نشانگر وجود یک نیروی مقاوم دقیقاً به اندازه نیروی محرک و در خلاف جهت آن می‌باشد. حال با زیاد کردن تدریجی نیروی محرک مشاهده می‌شود تا یک مقدار کمینه برای نیروی محرک جسم به حرکت در نمی‌آید. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نیروی اصطکاک در حال سکون همواره برابر با نیروی محرک است و دارای یک بیشینه می‌باشد که به آن بیشینه نیروی اصطکاک ایستایی گویند. مشاهده می‌شود که بیشینه نیروی اصطکاک ایستایی با نیروی عمود به سطح وارد به جعبه N متناسب است، ضریب تناسب را ضریب اصطکاک ایستایی μ_s گویند که به جنس سطوح تماس بستگی دارد.

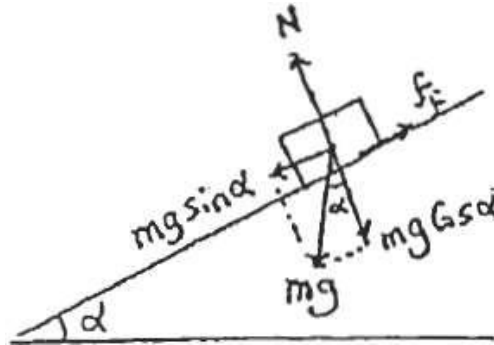
$$0 < f_s < f_{s \max}$$

$$f_{s \max} = \mu_s N$$

همچنین مشاهده می‌شود که پس از حرکت جسم هرگاه نیروی محرک قطع گردد، جسم شتاب منفی پیدا می‌کند و به سمت توقف پیش می‌رود که این حاکی از وجود نیروی مقاوم در حال حرکت است که به آن نیروی اصطکاک جنبشی یا لغزشی گویند. نیروی اصطکاک لغزشی نیز متناسب با نیروی عمود بر سطح N می‌باشد. ضریب تناسب را در این حالت ضریب اصطکاک جنبشی μ_k گویند که یک ثابت بدون بعد است و همواره از ضریب اصطکاک ایستایی کمتر است.

$$f_k = \mu_k N$$

هرگاه جسمی به جرم M بر روی یک سطح شیبدار با زاویه θ در آستانه حرکت واقع شود، آنگاه مولفه نیروی وزن جسم در راستای سطح شیبدار با بیشینه نیروی اصطکاک ایستایی برابر خواهد بود. همچنین نیروی عمود بر سطح برابر است با مولفه‌ای از نیروی وزن جسم که عمود بر سطح شیبدار می‌باشد.



شکل ۱-۳: سطح شیب دار

$$\begin{aligned} mg - Mg \sin \alpha - F_f &= 0 \\ F_f &= \mu N = \mu Mg \cos \alpha \\ mg - Mg \sin \alpha - \mu Mg \cos \alpha &= 0 \end{aligned}$$

$$\mu = \frac{m - M \sin \alpha}{M \cos \alpha} \quad (2)$$

$$\begin{cases} f_{s \max} = Mg \sin \theta \\ N = Mg \cos \theta \\ f_{s \max} = \mu_s N \end{cases} \Rightarrow \mu_s = \tan \theta \quad (4)$$

همچنین هرگاه جسم با سرعت یکنواخت بر روی سطح شیبدار با زاویه θ حرکت کند در اینصورت نیز، مولفه نیروی وزن در راستای سطح شیبدار برابر با نیروی اصطکاک جنبشی است. بطور مشابه خواهیم داشت:

$$\mu_k = \tan \theta' \quad (5)$$

برای مورد شکل ۲-۳، هرگاه سیستم در حال سکون باشد، آنگاه می‌توان گفت نیروی عامل حرکت با نیروی اصطکاک در حال سکون بر روی جعبه به جرم M' برابر است، درست در آستانه حرکت نیروی اصطکاک ایستایی برابر با مقدار بیشینه-اش می‌شود و از قانون دوم نیوتن خواهیم داشت:



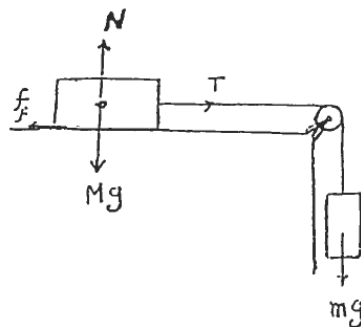
$$\begin{cases} T - mg = 0 \\ T - f_{s \max} = 0 \\ f_{s \max} = Mg\mu_s \end{cases}$$

بنابراین برای μ_s خواهیم داشت:

$$\mu_s = \frac{m}{M} \quad (۷)$$

به همین ترتیب هرگاه جرم M' با سرعت ثابت در حال حرکت باشد، برای ضریب اصطکاک لغزشی μ_k خواهیم داشت:

$$\mu_k = \frac{m}{M} \quad (۸)$$



شکل ۲-۳

روش انجام آزمایش:

الف - سطح افقی:

قطعه چوبی را روی سطح افقی قرار می‌دهیم و به آن نخ متصل کرده و از روی قرقره‌ای که در انتهای سطح قرار دارد عبور می‌دهیم و آن را به کفه‌ای متصل می‌کنیم. حال بتدریج در کفه وزنه قرار می‌دهیم و با زدن ضربه ملایمی به سطح حالتی را به وجود می‌آوریم که قطعه چوبی با سرعت یکنواخت حرکت کند و با قرار دادن وزنه‌های مختلف روی قطعه چوبی که در اینجا آن را بار می‌نامیم مجدداً آزمایش را تکرار می‌کنیم در این حالت با توجه به رابطه $\mu = \frac{m}{M}$ و اینکه :

$$M = \text{جرم بار} + \text{جرم قطعه چوبی} \quad , \quad m = \text{جرم وزنه} + \text{جرم کفه}$$

می‌توان μ را بدست آورد. نتایج را در جدول زیر یادداشت کنید. (توجه : این آزمایش را برای دو جسم با سطوح چوب و شیشه انجام دهید.)



ردیف	جرم بار روی جسم	جرم وزنه داخل کفه	m (kg)	M(kg)	μ_s	$ \mu_s - \overline{\mu_s} $	$\frac{ \mu_s - \overline{\mu_s} }{\mu_s}$
۱	۰						
۲	۵۰						
۳	۷۰						
۴	۱۰۰						
۵	۱۵۰						
					$\overline{\mu_s} =$		

منحنی m بر حسب M را در کاغذ میلی‌متری رسم نمائید و با استفاده از آن μ را بدست آورید. از آزمایشات فوق کدام یک از قوانین اصطکاک را نتیجه می‌گیرید؟

ب- سطح شیب‌دار:

زاویه سطح را با افق ۲۰ درجه انتخاب کنید و برای قطعه چوبی آزمایش قبلی را برای سطح شیب دار تکرار کنید. واضح است که در این حالت برای محاسبه μ باید از رابطه (۲) استفاده نمائید و نتایج را در جدول زیر ثبت نمایید.

ردیف	جرم بار روی جسم	جرم وزنه داخل کفه	m (kg)	M(kg)	μ_s	$ \mu_s - \overline{\mu_s} $	$\frac{ \mu_s - \overline{\mu_s} }{\mu_s}$
۱	۰						
۲	۵۰						
۳	۷۰						
۴	۱۰۰						
۵	۱۵۰						
					$\overline{\mu_s} =$		

ج) زاویه حد سکون:

جعبه‌ای را که در اختیار شما قرار می‌گیرد، روی سطح شیب‌دار قرار دهید و به تدریج شیب سطح را افزایش دهید تا جایی که جعبه در آستانه حرکت قرار گیرد. در این حالت زاویه θ که سطح شیب‌دار با افق می‌سازد را اندازه بگیرید، در مرحله بعد مجدداً این کار را تکرار کنید اما این بار ضرباتی به میز بزنید (و یا می‌توانید ضربه‌ای به خود جعبه بزنید تا حرکت اولیه آغاز شود) و هنگامی که جعبه با سرعت یکنواخت به حرکت خود ادامه داد، زاویه θ را یادداشت کنید، این عمل را ۵ بار تکرار نمایید و از رابطه ۷ ضریب اصطکاک جنبشی μ_k را بیابید.

این کار را ۵ بار انجام دهید و نتایج را در جدول ۱-۳ یادداشت نمایید. دقت کنید که هر بار جعبه را در یک نقطه مشخص از سطح شیب‌دار قرار دهید و سپس از رابطه ۴ ضریب اصطکاک ایستایی μ_s را بیابید و سپس نتیجه را بصورت $\bar{\mu}_s + \sigma_s$ گزارش نمایید.

این عمل را برای وجه دیگری از جعبه که از جنس متفاوتی است، انجام دهید و نتیجه را گزارش نمایید.

جدول ۱-۳

ردیف	جنس سطح شیب‌دار	جنس سطح جسم	زاویه حد سکون	$\mu_s = \tan \theta$	$\mu_k = \tan \theta$
۱					
۲					
۳					

سوالات :

- ۱- چرا ترمز کردن ناگهانی اتومبیل بر روی سطح آسفالت خیس عاقلانه نیست؟
- ۲- آیا نیروی اصطکاک ایستایی ثابت است؟
- ۳- اگر سطحی بیشتر از حد معینی صیقل داده شود مقاومت اصطکاکی، به جای کم شدن افزایش می‌یابد. چرا؟
- ۴- آیا این انتظار نامعقول است که ضریب اصطکاک از یک بیشتر باشد؟

۴ آزمایش ۴: اندازه‌گیری شتاب گرانش با استفاده از آونگ ساده

هدف:

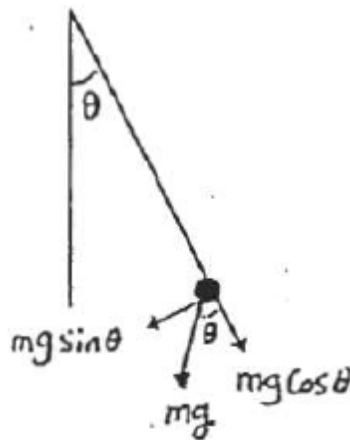
تحقیق نوسان آونگ ساده و اندازه‌گیری شتاب گرانش

ابزار مورد نیاز:

تخته یا میله آونگ ساده، گوی فلزی، نخ، زمانسنج دستی، متر

مبانی نظری:

آونگ ساده عبارت است از مجموعه یک وزنه و نخ که حول حالت تعادل عمودی و تحت تاثیر نیروی بازگردان وزن نوسان می‌کند. در هر لحظه دو نیروی کشش طناب و وزن به گلوله وارد می‌شود که در هر نقطه از مسیر حرکت نیروی کشش طناب به همراه آن مولفه از وزن که عمود بر مسیر حرکت می‌باشد نیروی مرکز گرای لازم برای تغییر جهت سرعت و حرکت دایره ای را فراهم می‌آورد و مولفه وزن مماس بر مسیر حرکت نیروی بازگردان و شتاب مماسی را فراهم می‌آورد.



قانون دوم نیوتن در راستای مماس بر مسیر حرکت در یک نقطه از مسیر که در آن انحراف از حالت عمودی (تعادل) θ می‌باشد، عبارت است از:

$$-Mg \sin \theta = Ma$$

$$-Mg \sin \theta = ML \frac{d^2 \theta}{dt^2} = ML \ddot{\theta}$$

برای نوسانات کوچک می‌توان نوشت:

$$\sin \theta \approx \theta$$



بنابراین خواهیم داشت:

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{L} \theta = 0$$

رابطه فوق معادله یک نوسانگر هماهنگ با بسامد زاویه‌ای $\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$ است بنابراین دوره تناوب زمانی آونگ عبارت

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

است از:

که در آن T تناوب و L طول آونگ ساده (نقطه آویز تا گرانیگاه گلوله) و g شتاب جاذبه زمین است.

روش انجام آزمایش:

- ۱- آونگ را به اندازه ۶ درجه از حالت تعادل منحرف کرده و سپس رها سازید.
- ۲- زمان ۱۵ نوسان کامل را با زمانسنج دستی اندازه گرفته و سپس زمان یک نوسان کامل را محاسبه کنید، این کار را ۳ بار تکرار کنید و زمان میانگین را در جدول ۱ یادداشت کنید.
- ۳- با استفاده از رابطه ۵ برای هر کدام از طول نخ‌ها g شتاب گرانش را بدست آورده و بر این اساس مقدار میانگین و انحراف معیار را محاسبه و نتیجه را گزارش نمایید.
- ۴- با رسم منحنی T^2 بر حسب طول نخ بر روی کاغذ میلیمتری و با توجه به رابطه شتاب گرانش را از روی شیب این خط نیز بدست آورید.

جدول ۱-۴

L(cm)	زمان ۱۵ نوسان	زمان یک نوسان	T^2	$g \text{ (m/s}^2\text{)}$	Δg	$\frac{\Delta g}{g}$	$\frac{\Delta g}{g} \times 100$
۱۹							
۲۵							
۲۹							
۴۰							
۵۰							

سوالات:

- ۱- نیروهای وارد در طول نوسان آونگ را در نمودار آزاد جسم ترسیم نمایید و نیروهای عمودی و مماس بر مسیر حرکت را بر حسب زاویه انحراف بیان کنید.
- ۲- اگر طول آونگ ساده ای ۴۰ cm باشد، با استفاده از رابطه ی نظریه اختلاف زمان تناوب آونگ را برای دو حالت الف) حداکثر زاویه انحراف ۶ درجه، ب) حداکثر زاویه انحراف ۳۰ درجه، محاسبه کنید. مدت زمان حداقل چند نوسان کامل را باید با زمان سنجی که در این آزمایش بکار بردید، اندازه گرفت تا بتوان این اختلاف را آشکار کرد؟



۵ آزمایش ۵: ماشین آتوود

هدف:

بررسی قوانین دینامیک در حرکت یک بعدی به کمک ماشین آتوود:

۱- تحقیق قانون اول نیوتن (قانون لختی)

۲- تحقیق قانون دوم نیوتن، حرکت با شتاب ثابت

ابزار مورد نیاز آزمایش: ماشین آتوود (شامل بدنه مدرج، قرقره، سنسور نوری، نخ، سربارگیر)، سربار بزرگ $10gr$ ، سربار کوچک $5gr$ ، زمان سنج

مبانی نظری:

قانون اول نیوتن (قانون لختی یا اصل ماند): جسمی که تحت تاثیر نیروی خارجی نباشد، حالت سکون یا حرکت مستقیم الخط یکنواخت خود را حفظ کند.

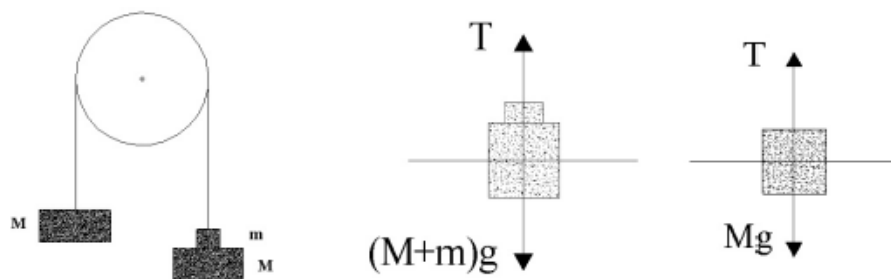
قانون دوم نیوتن (اصل اساسی دینامیک): هرگاه بر نقطه‌ای مادی به جرم m نیروی خالص F وارد شود، این نقطه شتابی می‌گیرد که از رابطه $F=ma$ به دست می‌آید.

ماشین آتوود متشکل است از دو جسم به جرم‌های M_1 و M_2 که توسط نخ بدون جرمی (ایده‌ال) که از روی یک قرقره می‌گذرد، بهم متصل می‌باشند. در صورتیکه از دوران قرقره صرف نظر شود یا به عبارت دیگر از اصطکاک بین قرقره و نخ چشم‌پوشی گردد، داریم:

$$\begin{cases} M_1 g - T = M_1 a \\ T - M_2 g = M_2 a \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = \frac{M_1 - M_2}{M_1 + M_2} g \\ T = \frac{2M_1 M_2}{M_1 + M_2} g \end{cases} \quad 1$$

اگر M_1 و M_2 با هم برابر باشند، آنگاه شتاب سیستم صفر خواهد بود و در حال تعادل خواهد بود. اگر M_1 به اندازه جرم m از M_2 بزرگتر باشد، خواهیم داشت:

$$M_1 = M_2 + m \xrightarrow{M_2=M} M_1 = M + m$$



$$a = \frac{m}{2M + m} g$$

در تمامی روابط بالا فرض کرده‌ایم که شرایط کاملاً ایده آل باشد و از اصطکاک قرقره و محور دوران، اصطکاک وزنه‌ها و هوا، جرم ریسمان صرف‌نظر کرده‌ایم.

مراحل انجام آزمایش:

آزمایش الف) مطالعه حرکت یک سیستم با شتاب ثابت:



- ۱- ابتدا وزنه‌های ماشین آنوود را با ترازو وزن کنید.
- اگر یکی از وزنه‌ها سبک‌تر بود به اطراف آن کمی چسب کاغذی بزنید تا هر دو وزنه، وزن یکسانی داشته باشند.
- ۲- وزنه‌های به جرم M را به نخ به طول معین که از روی قرقره می‌گذرد، متصل کنید.
- ۳- سربار $10gr$ را بر روی وزنه سمت راست که درست در بالای حسگر بالای واقع است، قرار دهید.
- ۴- سیستم را از حال سکون رها کنید و زمان عبور وزنه بین دو حسگر را یادداشت نمایید.
- ۵- موقعیت حسگر پایینی را تغییر دهید و آزمایش را به ازای ۵ فاصله متفاوت X تکرار نمایید و جدول را تکمیل نمایید.
- آزمایش را برای هر فاصله دلخواه حداقل ۳ مرتبه تکرار کنید و $\bar{t}$ را محاسبه کنید.



۶- از رابطه $x = \frac{1}{2}at^2$ شتاب را به ازای هر فاصله تعیین و سپس شتاب متوسط و خطای آن را محاسبه نمایید.

۷- نمودار X را بر حسب $\bar{t}^2$ را رسم کنید و شتاب سیستم را با توجه به اینکه شیب نمودار $(\frac{1}{2}a)$ به دست آورید.

۸-

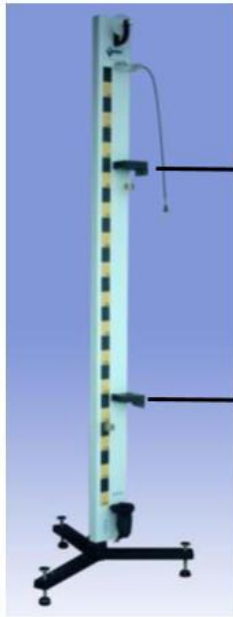
$x(m)$	t_1	t_2	t_3	$\bar{t} = t_1 + t_2 + t_3/3$	$\bar{t}^2$	$a(\frac{m}{s^2})$	Δa	$\Delta a/a$	$\frac{\Delta a}{a} \times 100$
$\bar{a} =$									

آزمایش ب) بررسی قانون اول نیوتن، حرکت با سرعت ثابت

همانند آزمایش (الف)، ابتدا وزنه‌ها را توزین کنید ولی این مرتبه سربار Δgr را بر روی وزنه M قرار دهید. در این آزمایش باید سربارگیر را مطابق شکل به ساختمان ماشین آتوود اضافه کنید.

وزنه را بدون سرعت اولیه رها کنید. وزنه با سرعت v به صفحه سربارگیر می‌رسد، سربار توسط صفحه سربارگیر از وزنه جدا می‌شود و سیستم به حالت تعادل مکانیکی می‌رسد. پس از حذف سربار، وزنه با سرعت ثابت v حرکت می‌کند. برای بررسی قانون اول نیوتن طبق رابطه $X = v\Delta t$ ، مسافت X را از لحظه حذف سربار توسط سربارگیر تا مکان دلخواه و بازه زمانی این مسافت طی شده را اندازه‌گیری کنید. (آزمایش را برای هر فاصله دلخواه حداقل ۳ مرتبه تکرار کنید).

- برای بدست آوردن مقدار تئوری سرعت از رابطه $v_2^2 - v_1^2 = 2a\Delta x$ استفاده کنید. در این رابطه Δx فاصله‌ی رها کردن وزنه تا رسیدن به سربارگیر است. باید توجه کنید (Δx) تا انتهای آزمایش همواره ثابت بماند.



سریال گیر
 x_1
X
صفحه مانع
 x_2

با رسم نمودار تغییرات X بر حسب Δt و با توجه به اینکه شیب خط رسم شده، قانون اول نیوتن را بررسی کنید.

x(m)	t_1	t_2	t_3	$\bar{t} = t_1 + t_2 + t_3 / 3$	$v(\frac{m}{s})$	Δv	$\Delta v / v$	$\frac{\Delta v}{v} \times 100$
$\bar{v} =$								

سوالات:

۱- عوامل خطا را ذکر کنید.

۲- با در نظر گرفتن اصطکاک قرقره در روابط بالا چه پیشنهادی دارید؟



۶ آزمایش ۶: حرکت پرتابی

هدف:

بررسی سرعت اولیه پرتاب، برد و بیشینه ارتفاع در حرکت پرتابی به عنوان تابعی از زاویه پرتاب

وسایل لازم:

دستگاه شلیک گلوله، حسگر نوری (۲ عدد)، زمانسنج، توپ، شاقول اندازه‌گیری زاویه، کاغذ، کاربن

مبانی نظری:

حرکت پرتابی ترکیبی است از دو حرکت سقوط آزاد تحت تاثیر شتاب گرانش در راستای قائم و حرکت یکنواخت در راستای افق که یک حرکت منحنی الخط خواهد بود. به بیان دیگر هرگاه جسم را به گونه‌ای پرتاب کنیم که بردار سرعت اولیه آن مولفه‌ای در راستای قائم داشته باشد، حرکت را پرتابی گوییم. برای استخراج معادلات سینماتیکی حاکم بر حرکت پرتابی کافی است که حرکت در هر راستا (افق و قائم) را بطور جداگانه و مستقل بررسی نماییم. برای شتاب در هر راستا خواهیم داشت:

$$\vec{a} = \vec{g} \Rightarrow \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{cases} \quad (1)$$

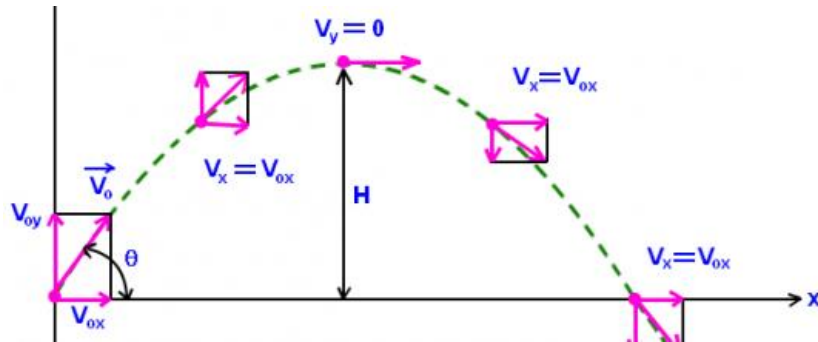
اگر همانطور که در شکل ۶-۱ دیده می‌شود، جسم با سرعت اولیه V_0 و با زاویه θ نسبت به افق پرتاب شود، برای مولفه‌های سرعت اولیه داریم:

$$\begin{cases} V_{0x} = V_0 \cos \theta \\ V_{0y} = V_0 \sin \theta \end{cases} \quad (2)$$

معادلات حرکت در راستای افق و قائم برای پرتاب از مختصات اولیه (x_0, y_0) به ترتیب عبارت است از:

$$\begin{aligned} x(t) &= V_{0x}t + x_0 = V_0t \cos \theta + x_0 \\ V_x(t) &= V_{0x} = V_0 \cos \theta \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} y(t) &= -\frac{1}{2}gt^2 + V_{0y}t + y_0 = -\frac{1}{2}gt^2 + V_0t \sin \theta + y_0 \\ V_y(t) &= -gt + V_{0y} = -gt + V_0 \sin \theta \\ V_y^2(t) - V_{0y}^2 &= -2g[y(t) - y_0] \end{aligned} \quad (4)$$



شکل ۶-۱: حرکت پرتابی

با حذف زمان از معادلات مکان در راستای افق و قائم معادله مسیر به صورت زیر بدست می آید.

$$y = -\frac{g(x-x_0)^2}{2V_0^2 \cos^2(\theta)} + (x-x_0) \tan \theta \quad (5)$$

با قرار دادن، مولفه قائم سرعت برابر صفر ($V_y=0$) بیشینه ارتفاع و زمانی که جسم به این ارتفاع بدست می آید از روابط

فوق بصورت زیر بدست می آید:

(۶)

$$t_o = \frac{V_{0y}}{g} = \frac{V_0 \sin \theta}{g}$$

$$h = y(t_o) = \frac{V_{0y}^2}{2g} + y_0 = \frac{V_0^2 \sin^2 \theta}{2g} + y_0$$

همچنین زمان بازگشت به ارتفاع پرتاب y_0 عبارت است از:

(۷)

$$t_b = 2 \frac{V_{0y}}{g} = \frac{2V_0 \sin \theta}{g}$$

با جایگذاری این زمان در معادله مکان برای راستای افق، فاصله افقی که جسم در لحظه بازگشت به ارتفاع پرتاب طی

می کند یا همان برد، به صورت زیر بدست می آید:

$$R = x(t_b) = \frac{V_0^2 \sin 2\theta}{g} \quad (8)$$

روش انجام آزمایش:

الف- تعیین سرعت اولیه:

- دستگاه شلیک گلوله را به حالت افقی تنظیم کنید، به گونه‌ای که شاقول تنظیم زاویه دقیقاً زاویه صفر را نشان دهد.
- دو حسگر نوری را به فاصله معین از یکدیگر و در مقابل دستگاه قرار دهید، فاصله دو حسگر "X" را اندازه بگیرید. حسگر نزدیک به دستگاه را به پایانه شروع و حسگر دوم را به پایانه استاپ متصل نمایید، کلید زمانسنج را در حالت روشن قرار دهید.
- پیستون را به سمت بیرون بکشید، تا در پله اول (حالت اول) قرار گیرد، در این حالت سرعت پرتاب گلوله کمترین مقدار است، حال دکمه پرتاب را فشار دهید و یا در بعضی دستگاه‌ها ماشه پرتاب را توسط حلقه تعبیه شده، بکشید تا گلوله در راستای افق پرتاب شود. دقت کنید پیش از پرتاب پیچ‌های تنظیم را کاملاً محکم نمایید تا از جابجایی دستگاه در حین پرتاب جلوگیری شود.
- زمان سنج، زمان عبور گلوله t را نشان می‌دهد، به منظور کاهش خطا این کار را ۵ بار انجام دهید.
- جدول ۱-۶ را تکمیل کنید و با استفاده از معادله اول از رابطه ۳، سرعت اولیه گلوله (سرعت پرتاب) را محاسبه و در جدول یادداشت نمایید.
- مراحل فوق را برای حالتی که پیستون در پله‌های دوم و سوم (سرعت‌های پرتاب بیشتر) قرار دارد تکرار کنید و برای هر کدام از موارد جدولی نظیر جدول ۱ را پر کنید.

جدول ۱-۶

$X=v_0t$	
t	V_0



ب- تحقیق روابط سینماتیکی در حرکت پرتابی

- برای سه سرعت ممکن پرتاب، پرتابه را در زوایای $۳۵,۲۵$ ، ۴۵ ، ۵۵ ، ۶۵ درجه تنظیم کنید و پرتاب را انجام دهید.
- ارتفاع پرتاب y و همچنین فاصله افقی برخورد توپ با زمین x را در هر زاویه اندازه بگیرید و در جدول ۲-۶ (برای هر سرعت) نظیر جدول ۱-۶ یادداشت کنید. برای این منظور پس از تعیین تقریبی ناحیه برخورد با زمین، جهت تعیین دقیق نقطه برخورد از یک برگه و کاربن بر روی آن استفاده کنید. برای اندازه‌گیری دقیق فواصل افقی و قائم از محل پرتاب از شاقول استفاده نمایید.
- با داشتن ارتفاع پرتاب، زمان را از معادله نخست رابطه ۴ بدست آورید و با استفاده از آن و جایگذاری در معادله اول رابطه ۳، فاصله افقی مورد انتظار برخورد با زمین x_{exp} را محاسبه و با فاصله افقی اندازه‌گیری شده مقایسه نمایید.

جدول ۲-۶

			$V_0=$
Θ	$y \text{ (m)}$	$x \text{ (m)}$	$x_{exp} \text{ (m)}$

۷ آزمایش ۷: تعادل نیروها

هدف:

بررسی مسائل مربوط به تعادل یک جسم تحت تاثیر چند نیروی متقاطع به روش‌های تحلیلی و برداری در مسائل استاتیک

وسایل لازم:

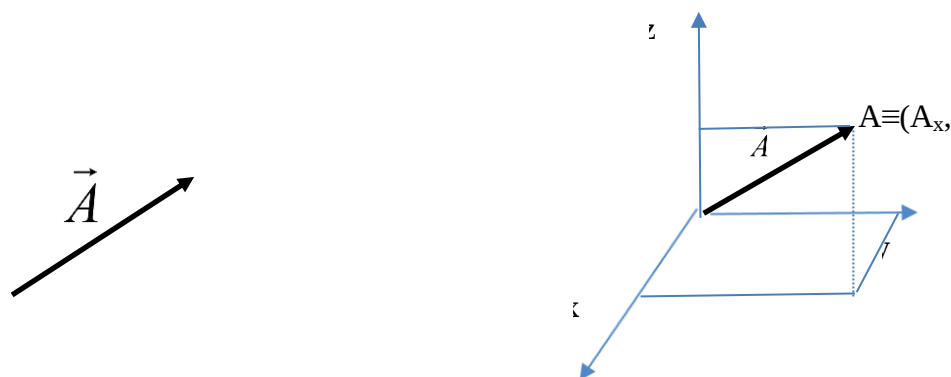
دستگاه میزچه نیرو، گیره‌های مخصوص همراه با قرقره چهار عدد، وزنه‌های باسکولی چهار عدد، حلقه نازک یک عدد.

مبانی نظری:

کمیت‌های فیزیکی به دو رده کمیت‌های نرده‌ای و برداری تقسیم می‌شوند. کمیت‌های نرده‌ای کمیت‌هایی هستند که به طور کامل با عدد توصیف می‌شوند و از قوانین جبر معمولی پیروی می‌کنند اما برای توصیف کمیت‌های بردار علاوه بر اندازه نیاز به تعیین راستا و سو یا بطور کلی جهت در فضا می‌باشد و از قوانین جبر بردار پیروی می‌کنند.

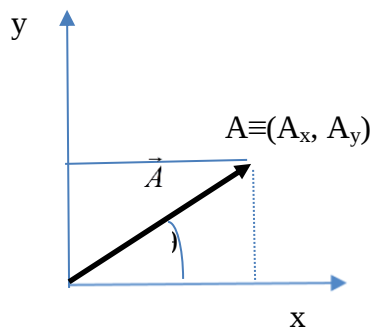
تعریف بردار:

به طور هندسی هر بردار با یک پاره‌خط پیکان‌دار نشان داده می‌شود که طول پاره‌خط متناسب با اندازه بردار و پیکان در جهت بردار خواهد بود. همچنین برای تعیین کمی یک بردار، همسنگ آن را از مبدا مختصات ترسیم نموده، آنگاه مختصات نقطه‌ای که نوک پیکان در آن قرار می‌گیرد، تعیین کننده بردار مذکور است. یا به بیان دیگر هرگاه از نوک پیکان یک عمود بر محورهای مختصات دکارتی رسم شود مولفه‌های نرده‌ای بردار در دستگاه دکارتی بدست می‌آیند و با بهره‌گیری از بردارهای یکه در راستای محورهای مختصات می‌توان یک تصویر کمی از بردار را ارائه داد.



$$\vec{A} = A_x \hat{i} + A_y \hat{j} + A_z \hat{k}$$

برای موردی که بردار $\vec{A}$ در صفحه واقع شود، دو مولفه نرده‌ای برای توصیف آن لازم است. در دستگاه مختصات دکارتی تصاویر بردار روی محورهای x و y این دو مولفه خواهند بود و در دستگاه قطبی صفحه‌ای هر بردار در صفحه با اندازه آن $|\vec{A}|$ و زاویه‌ای که بردار با مثبت محور x در جهت مثبت مثلثاتی (θ) تشکیل می‌دهد توصیف می‌شود.



$$\begin{cases} A_x = |\vec{A}| \cos(\theta) \\ A_y = |\vec{A}| \sin(\theta) \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} |\vec{A}| = (A_x^2 + A_y^2)^{\frac{1}{2}} \\ \theta = \tan^{-1}\left(\frac{A_y}{A_x}\right) \end{cases}$$

جمع برداری:

برآیند بردارها را می‌توان به روش هندسی (کیفی) و یا به روش تحلیلی پیدا نمود. در روش تحلیلی، بردارها در یک دستگاه مختصات معین تجزیه و مولفه‌های نرده‌ای هم‌ارز با هم به صورت جبری ترکیب می‌شوند و مولفه‌های نرده‌ای بردار برآیند در دستگاه مختصات مذکور بدست می‌آیند.

$$\begin{aligned} \vec{R} &= \vec{A} + \vec{B} \\ \begin{cases} R_x = A_x + B_x \\ R_y = A_y + B_y \\ R_z = A_z + B_z \end{cases} \end{aligned}$$

اگر اندازه بردارهای $\vec{A}$ و $\vec{B}$ و زاویه بین آنها ϕ مشخص باشد، اندازه بردار برآیند عبارت است از:

$$|\vec{R}| = \left(|\vec{A}|^2 + |\vec{B}|^2 + 2|\vec{A}||\vec{B}|\cos(\phi) \right)^{\frac{1}{2}}$$

نیروی یک کمیت برداری است و از قوانین جبر برداری پیروی می‌کند.

هرگاه برآیند خالص نیروها و گشتاورهای نیروی وارد به جسمی صفر باشد، جسم در حالت تعادل انتقالی و دورانی است و گوییم جسم در حالت تعادل است. در این حالت سرعت انتقالی و دورانی جسم تغییر نمی‌کند. در حالت تعادل خواهیم داشت:

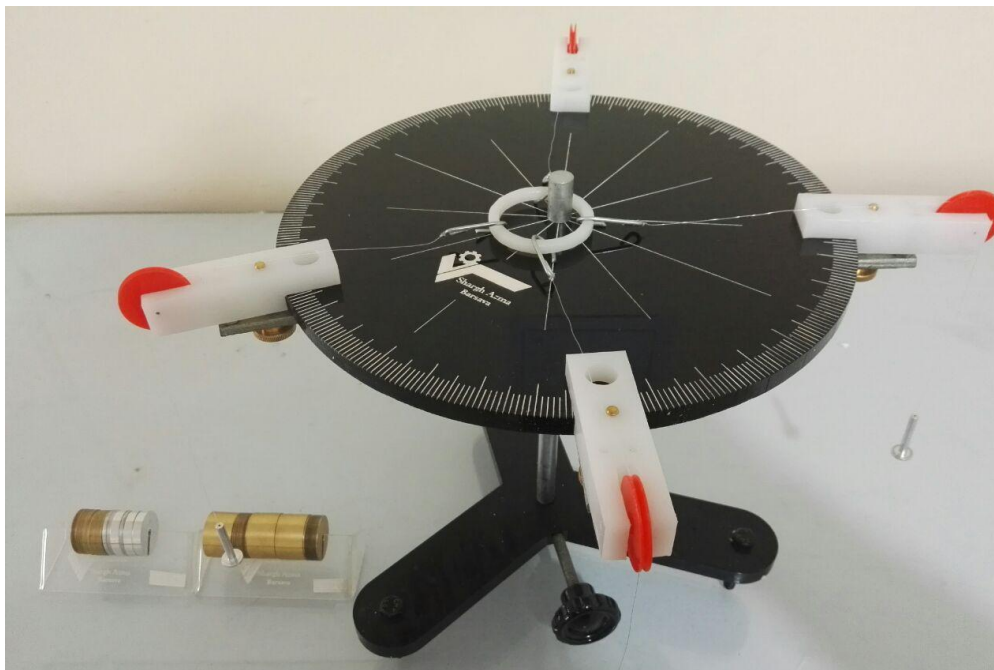
$$\sum \vec{F} = 0 \Leftrightarrow \begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \end{cases}$$

روش آزمایش:

میزجه افقی:

میزچه نیرو را همانند شکل آماده و سطح آن را با دقت با پیچهای تنظیم پایه تراز نمایید به گونه‌ای که سطح میز یک سطح کاملاً افقی باشد. حلقه نازک را روی شاخص در مرکز میز قرار دهید.

دو گیره از گیره‌های مخصوص میز نیرو را طوری بر روی میز سوار و محکم کنید که با هم یک زاویه دلخواه تشکیل دهند، آنگاه دو تکه نخ را به دور حلقه وسط میز وصل کنید، اتصال نخها باید طوری باشد که بتوانند آزادانه دور حلقه حرکت کنند. به هر نخ یک کفه مخصوص وزنه باسکولی متصل و از روی قرقره‌ها عبور دهید. بر روی کفه به میزان دلخواه وزنه قرار دهید. گیره سوم را با مجموعه نخ، وزنه باسکولی روی میز نصب کنید تا شاخص در مرکز حلقه قرار گیرد و ۳ نیرو به تعادل برسند. حال اندازه هر کدام از این ۳ نیرو در واقع برابر با اندازه برآیند دو نیروی دیگر و در جهت عکس آن می‌باشد. این موضوع را تحقیق کنید. برای دو حالت متفاوت این عمل را انجام دهید و جدول ۱-۷ را کامل کنید.



شکل ۱-۷: میزجه افقی

جدول ۱-۷

بردار نیروی ۱		بردار نیروی ۲		بردار نیروی ۳		بردار برآیند (تئوری)		
وزن (N)	زاویه با $+x$ (درجه)	وزن (N)	زاویه با $+x$ (درجه)	وزن (N)	زاویه با $+x$ (درجه)	برآیند ۲و۱ (N)	برآیند ۳و۱ (N)	برآیند ۳و۲ (N)

۱- در این قسمت، سه نیروی دلخواه را توسط ۳ گیره و وزنه به حلقه اعمال نمایید و آنگاه با اعمال نیروی چهارم توسط گیره چهارم به همراه مجموعه قرقره و وزنه متصل به آن، تعادل را برای حلقه برقرار سازید و بدینوسیله نیروی برآیند ۳ نیروی دیگر را اندازه بگیرید و با مقدار محاسبه شده از تئوری مقایسه نمایید. برای دو حالت متفاوت این عمل را تکرار نمایید و نتایج را در جدول ۲-۷ یادداشت نمایید.

جدول ۲-۷

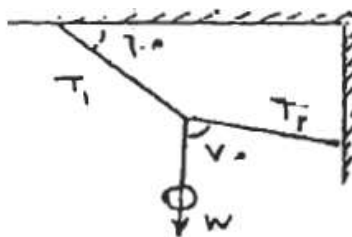
بردار نیروی ۱		بردار نیروی ۲		بردار نیروی ۳		اندازه نیروی چهارم (نیروی تعادل) (N)	
وزن (N)	زاویه با $+x$ (درجه)	وزن (N)	زاویه با $+x$ (درجه)	وزن (N)	زاویه با $+x$ (درجه)	اندازه برآیند (N)	

--	--	--	--	--	--	--	--

در تمام قسمت های آزمایش از مقایسه بین مقادیر تجربی و محاسبه شده خطا را گزارش نمایید و منابع خطا را ذکر نمایید.

سوالات :

- ۱- چگونه می توان روش متوازی الاضلاع را در مورد بیش از دو بردار انجام داد؟
- ۲- کمیت های برداری و اسکالر را تعریف کنید و از هر کدام چند نمونه مثال بزنید؟
- ۳- در شکل زیر حداکثر نیروی کششی که نخ ها می توانند تحمل کنند ۸۰ نیوتن می باشد بیشترین نیروی W چند نیوتن می تواند باشد؟





۸ آزمایش ۸: بررسی قوانین حرکت با استفاده از ریل هوا

هدف:

- ۱- بررسی حرکت مستقیم الخط یکنواخت
- ۲- بررسی حرکت در راستای خط مستقیم با شتاب ثابت

مبانی نظری:

اصطکاک در صنعت و علم معمولاً بعنوان یک عامل مزاحم مطرح بوده و همواره سعی بر این بوده است که آن را تا حد ممکن کاهش دهند. همین مسئله زمینه‌هایی را برای تحقیق مهیا نموده است و حاصل این تحقیقات منجر به استفاده از چرخ، بلبرینگ، سطوح کاملاً صیقلی و روغنی، لایه هوا و میدان مغناطیسی بعنوان عامل کاهش دهنده اصطکاک شده است. ما در این آزمایش روش لایه‌ها را انتخاب کرده‌ایم. این روش بدین صورت است که سطح جسم متحرک به موازات سطح بدنه دستگاه قرار می‌گیرد و از روزهایی که بر روی سطح بدنه قرار دارد هوا با فشار خارج می‌شود و بین متحرک و بدنه دستگاه یک بالشتک هوا ایجاد می‌شود و ارتباط بین سطح این دو قطع می‌گردد، در نتیجه اصطکاک به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. به هر میزان که بتوانیم بالشتک هوای بهتری بسازیم به همان میزان در کاهش اصطکاک موفق‌تر بوده‌ایم. دستگاه ریل هوا شامل یک ریل که بر روی دو پایه قابل تنظیم سوار شده است می‌باشد. بر روی دو سطح از ریل، سوراخ خالی ریز و منظمی تعبیه گردیده است. هوای ایجاد شده توسط پمپ باد به داخل محفظه ریل دمیده می‌شود و این هوا از سوراخ‌ها به بیرون می‌آید. از آنجایی که سرنده‌ها دارای وزن کمی هستند این میزان هوا قادر است که ارتباط بین سرنده‌ها و ریل را قطع کند، لذا حرکت سرنده‌ها بر روی ریل یک حرکت تقریباً بدون اصطکاک است. از این رو زمینه مساعدی برای مطالعه انواع برخوردها و حرکت‌ها که در آن‌ها سرنده‌ها نقش متحرک بدون اصطکاک را دارند مهیا می‌شود.

برای اندازه‌گیری سرعت متحرک‌ها می‌توان از سلول‌های فتوالکتریک که به یک زمان‌سنج (Timer) متصل می‌باشند استفاده نمود. هنگامی که می‌خواهیم سرعت را بدست آوریم از سلول متصل به زمان‌سنج (Timer) بهره می‌گیریم. چرا که زمان‌سنج طوری طراحی شده است که به پالس‌های الکتریکی حساسیت نشان می‌دهد. بدین صورت که با یک پالس شروع به کار کرده و با پالس بعدی قطع می‌کند. وقتی که سرنده از زیر پل نوری اول عبور کند و شعاع نوری را قطع نماید یک پالس تولید می‌کند و زمان سنج شروع به شمارش زمان می‌نماید و این شمارش تا زمانی که سرنده از زیر پل دومی عبور کرده و شعاع نوری را قطع کند ادامه پیدا می‌کند. بمحض قطع کردن شعاع نوری پل دوم، پالس بعدی فرستاده می‌شود و زمان‌سنج شمردن زمان را متوقف می‌کند. حال با داشتن فاصله جابجایی سرنده و زمان عبور سرنده از روی زمان سنج قوانین حرکت را می‌توان بررسی کرد.



شکل ۸-۱: ریل هوا

وسایل لازم:

دستگاه ریل هوا به همراه متعلقات، سرنده‌های چوبی دو عدد، پل نوری دو عدد، تایمر (Timer) به همراه سیم‌های رابط، دستگاه پمپاژ، نخ به همراه چنگک، وزنه مخصوص.

روش انجام آزمایش:

۱- بررسی حرکت مستقیم الخط یکنواخت

دستگاه را با استفاده از پیچ‌های تنظیم پایه، تراز نمایید. پل‌های نوری را در فاصله بخصوصی از یکدیگر قرار دهید. اینک زمان سنج و پمپ هوا را روشن نموده و ضربه کوچکی به سرنده وارد نمایید تا این فاصله اختیاری را طی نماید. زمان عبور سرنده را از روی زمان سنج قرائت کنید (Δt). حال با استفاده از رابطه حرکت مستقیم الخط یکنواخت یعنی $x = v\Delta t$ می‌توان سرعت یکنواخت را بدست آورد. همچنین با تغییر فاصله پل‌های نوری تمامی اعمال بالا را تکرار نمایید.

الف - جدول ۸-۱ را با توجه به داده‌های بدست آمده تکمیل کنید.

ب - منحنی را بر حسب t رسم کرده و از روی آن سرعت متوسط را محاسبه کنید.

جدول ۱-۸

$x(m)$	$T(s)$	$v(m/s)$

۲- بررسی حرکت در راستای خط مستقیم با شتاب ثابت

دستگاه را تراز نمایید و یک رشته نخ را به ابتدای سرنده وصل کنید. به سر دیگر نخ که از روی قرقره انتهای ریل عبور کرده یک وزنه متصل نمایید و آویزان کنید. البته این وزنه مخصوص به همراه دستگاه موجود است. پل‌های نوری را به فاصله مشخص مثلاً (40cm) از یکدیگر قرار دهید. سرنده را در فاصله بسیار نزدیکی به پل اول مستقر نمایید تا به محض رها کردن سرنده شعاع نوری قطع گردد و زمان سنج شروع به کار کند (این عمل به خاطر نداشتن سرعت اولیه v_0 انجام می‌دهیم). زمان طی شدن مسافت را پس از قرائت در جدول زیر یادداشت نمایید و این عمل را چندین مرتبه انجام داده و میانگین این زمان‌ها را در نظر بگیرید (t). حال با توجه به جدول پل‌های نوری را در فاصله‌های داده شده از یکدیگر قرار دهید و هر بار زمان طی شدن فواصل را یادداشت و جدول ۸-۲ را تکمیل نمایید آنگاه با استفاده از رابطه:

$$\Delta x = \frac{1}{2} a t^2 \rightarrow a = \frac{2x}{t^2} \quad (۱)$$

با رسم نمودار Δx بر حسب t^2 و محاسبه شیب خط مقدار شتاب را محاسبه نمایید.

اگر m جرم وزنه آویخته شده و M جرم سرنده باشد، قانون دوم نیوتن را می‌توان برای این حالت به شکل زیر

نوشت:

$$mg = (m + M)a \rightarrow a = \frac{mg}{m+M} \quad (۲)$$

مقداری را که از رابطه (۲) بدست آورید را با مقدار بدست آمده از بخش قبل (شیب نمودار Δx بر حسب t^2)

مقایسه و خطای نسبی و مطلق را محاسبه نمایید.

جدول ۲-۸

$\Delta x(m)$	$\Delta t_1(s)$	$\Delta t_2(s)$	$\Delta t_3(s)$	$T(s)$	$T^2(s^2)$
$\Delta x_1(s)$					
$\Delta x_2(s)$					
$\Delta x_3(s)$					

۱- تحقیق قوانین بقا

فرض کنید گلوله‌ای به جرم m_1 که با سرعت v_{1i} حرکت می‌کند، به گلوله دیگری به جرم m_2 که با سرعت v_{2i} حرکت می‌کند، در امتداد خط واصل دو گلوله، برخورد کاملاً الاستیک نماید. اگر پس از برخورد، دو گلوله با سرعت v_{1f} و v_{2f} به حرکت خود ادامه دهند بنابر قوانین بقای اندازه حرکت و بقای انرژی خواهیم داشت:

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2i}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2f}^2$$

از حل این دو معادله بدست خواهیم داشت:

$$v_{1f} = \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_{2i} + \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i}$$

$$v_{2f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{2i} + \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i}$$

بنابراین اگر گلوله دوم در ابتدا ساکن باشد، $v_{2i} = 0$ بنابراین:

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i}$$

$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i}$$

و در این حالت اگر $m_1 = m_2$ باشد



$$v_{1f} = 0$$

$$v_{2f} = v_{1i}$$

یعنی پس از برخورد، گلوله اول ساکن و گلوله دوم با سرعت اولیه گلوله اول شروع به حرکت خواهد کرد. برای مشاهده این قسمت در این آزمایش یکی از سرنده‌ها را در یک نقطه روی ریل ثابت نگه دارید. سرنده دوم را با سرعت معینی که می‌تواند از یک ضربه حاصل شود، رها نمایید این دو سرنده هم وزن هستند، لذا پس از برخورد مشاهده خواهید کرد که سرنده متحرک در جای سرنده ساکن می‌ایستد و سرنده ساکن با همان سرعت و در همان جهت به حرکت در می‌آید.

۲- دستگاه را بر روی سطح افق قرار دهید. توسط پیچ‌های تنظیم پایه، دستگاه را بصورت سطح شیب‌دار درآورید. با یک نقاله، زاویه‌ای را که دستگاه با سطح افق می‌سازد اندازه بگیرید. پل‌های نوری را در فواصل مشخصی از یکدیگر، با توجه به جدول تنظیم نمایید. یکی از متحرک‌ها را با نخ که از روی قرقره عبور داده شده به وزنه وصل نمایید. متحرک را به گونه‌ای به پل نوری اول نزدیک کنید که به محض رها شدن آن، شعاع نوری را قطع نماید. متحرک را رها کنید تا فاصله بین دو پل نوری را طی کند با داشتن فاصله و زمان عبور می‌توان شتاب را محاسبه نمود.

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t$$

$$v_0 = 0 \rightarrow x = \frac{1}{2}at^2$$

برای فواصل مختلف این آزمایش را تکرار نمایید. سپس نمودار x را بر حسب t^2 رسم نموده و با محاسبه شیب خط برازش شده به نقاط شتاب حرکت را محاسبه کنید. از طرفی با توجه به وضعیت سطح شیب‌داری که وجود دارد نیز می‌توان این شتاب را بدست آورد.

رابطه $\sum F = Ma$ را برای هر دو جسم در این حالت می‌نویسیم:

$$mg - T = ma \quad \text{برای جرم } m$$

$$T - Mg \sin\theta - f = Ma \quad \text{برای جسم } M$$

$$N - Mg \cos\theta = 0 \quad (m > M)$$

با وجود بالشتک هوا و صرف نظر کردن از نیروی اصطکاک خواهیم داشت:

$$mg - T = ma$$

$$T - Mg \sin\theta = Ma$$



$$mg - Mg \sin \theta = (M + m)a$$

$$a = \frac{m - M \sin \theta}{m + M} g$$

شتاب را با استفاده از رابطه (۴) محاسبه نمایید و آنرا با نتیجه فوق مقایسه نمایید.



۹ آزمایش ۹: سقوط آزاد

هدف:

تحقیق حرکت سقوط آزاد و محاسبه شتاب گرانش

مبانی نظری:

سقوط آزاد، یک نمونه از حرکت یک بعدی با شتاب ثابت، تحت تاثیر شتاب گرانش $\vec{a} = \vec{g}$ در راستای قائم است (با صرف نظر کردن از مقاومت هوا). بنابراین معادلات سینماتیکی با شتاب ثابت در این مورد برقرار هستند. شتاب گرانش زمین در راستای قائم و به طرف مرکز زمین می باشد. اگر جهت مثبت محور y را در راستای قائم و به طرف بالا در نظر بگیریم، خواهیم داشت:

$$a_y = -g$$

$$v_y(t) = -gt + v_0$$

$$v^2 - v_0^2 = -2gy$$

$$y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0t + y_0$$

اگر جسمی از ارتفاع $y_0 = h$ رها شود ($v_0 = 0$) و پس از گذشت زمان t_c با زمین برخورد کند ($y = 0$) خواهیم داشت:

$$h = \frac{1}{2}gt_c^2 \quad (5)$$

ابزار مورد نیاز:

پایه و میله متصل به آهنربا و حسگر ضربه - زمانسنج الکترونیکی - متر فلزی - گلوله فلزی

روش انجام آزمایش:

- ۱- آهنربای نگهدارنده گلوله و حسگر را در یک فاصله معین تنظیم نمایید. (بسته به نوع دستگاه حسگر ضربه و یا حسگر نوری)
- ۲- سیم های رابط را از آهنربا به پایانه شروع زمانسنج (استارت) و یا به ورودی ولتاژ و از حسگر نوری و یا حسگر ضربه به استاپ متصل نمایید.
- ۳- کلید ولتاژ را در حالت وصل قرار دهید، در این صورت گلوله به آهنربای الکتریکی می چسبد.



- ۴- حال کلید ولتاژ را قطع کنید تا گلوله رها شود در لحظه رها شدن گلوله، شمارش زمانسنج آغاز و با عبور گلوله از مقابل حسگر نوری و یا با برخورد با حسگر ضربه زمان متوقف می شود. برای اندازه گیری زمان، آزمایش را ۳ مرتبه تکرار نمایید و زمان میانگین را به عنوان زمان سقوط در نظر بگیرید.
- ۵- زمان سقوط را به ازای ۵ ارتفاع اندازه گیری نمایید و در جدول ۹-۱ یادداشت نمایید.
- ۶- از رابطه ۵ به ازای هر ارتفاع شتاب گرانش را اندازه گرفته و در جدول یادداشت کنید و سپس مقدار میانگین آن و انحراف معیار را محاسبه کنید.
- ۷- در انتها نیز منحنی h بر حسب t^2 را در کاغذ میلیمتری رسم و از روی شیب خط آن شتاب گرانش را محاسبه نمایید و خطا را در مقایسه با مقدار 9.8 m/s^2 محاسبه کنید.

جدول ۹-۱: نتایج حاصل از سقوط آزاد

H(m)	t_1	t_2	t_3	$\bar{t} = t_1 + t_2 + t_3 / 3$	$\bar{t}^2$	$g(\frac{m}{s^2})$	Δg	$\Delta g / g$	$\frac{\Delta g}{g} \times 100$

سوالات:

- ۱- منابع خطا را ذکر کنید؟
- ۲- انتظار دارید اگر از گلوله ها با جرم ها اما شعاع های متفاوت استفاده نمایید، چه نتیجه ای حاصل شود؟
- انتظار دارید اگر از گلوله ها با شعاع های یکسان اما جرم های متفاوت استفاده نمایید چه نتیجه ای حاصل شود؟

۱۰ آزمایش ۱۰: آونگ کاتر

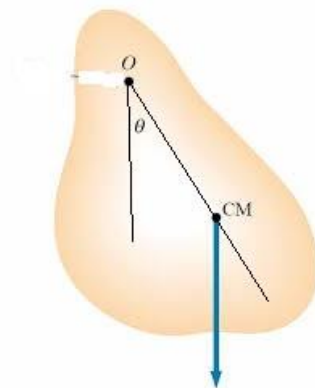
هدف:

تعیین شتاب ثقل توسط آونگ مرکب (آونگ فیزیکی، کاتر).

مبانی نظری:

در آونگ ساده فرض می‌شود که نخ بدون وزنی ذره منفردی را نگه می‌دارد. از ابعاد گلوله در برابر طول نخ و همچنین از وزن نخ در برابر وزن گلوله صرف نظر می‌گردد ولی در صورتی که از ابعاد آونگ در مقایسه با فاصله مرکز آن تا محور نوسان نتوان صرف نظر کرد، آونگ را آونگ مرکب یا فیزیکی می‌نامند.

برای سهولت، آونگ را به شکل یک جسم ورقه‌ای، در نظر می‌گیریم و محور نوسان را عمود بر صفحه جسم انتخاب می‌کنیم (با اعمال این محدودیت‌ها هیچ چیز مهمی را از دست نمی‌دهیم).



شکل ۱۰-۱: مکانیزم آونگ مرکب

در شکل ۱۰-۱ جسمی با شکل نامنظم حول محور افقی بدون اصطکاکی که از O گذشته و به اندازه زاویه θ از وضع تعادل جابجا شده است نوسان می‌کند. موضع تعادل، موضعی است که در آن، مرکز جرم جسم (یعنی CM) در زیر O و در روی خط قائمی قرار دارد که از O می‌گذرد. فاصله میان محور تا مرکز جرم جسم d ، لختی دورانی جسم نسبت به محوری که از O می‌گذرد I ، و جرم جسم M است. گشتاور نیروی بازگرداننده به ازای جابجائی زاویه‌ای θ برابر است با:

$$\tau = -Mgd \sin \theta$$



که از مولفه مماسی نیروی گرانی ناشی می‌شود. چون θ با $\sin \theta$ متناسب است، در اینجا بطور کلی شرط حرکت هماهنگ ساده زاویه‌ای صادق نیست. باوجود این برای جابجایی‌های زاویه‌ای کوچک رابطه $\sin \theta \approx \theta$ ، همانند قبل، تقریب بسیار خوبی است و در نتیجه برای دامنه‌های کوچک داریم:

$$\tau = -K\theta \quad \text{یا} \quad \tau = -Kgd\theta$$

$$K = Mgd \quad \text{که در آن}$$

$$\tau = I \frac{d^2\theta}{dt^2} = Ia \quad \text{از طرفی داریم}$$

که در آن α شتاب زاویه‌ای و I لختی دورانی می‌باشد. در نتیجه داریم:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{\tau}{I} = \frac{-K}{I}\theta$$

بنابراین دوره تناوب یک آونگ فیزیکی که با دامنه کوچک نوسان می‌کند برابر است با:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{K}} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mgd}} \quad (1)$$

در دامنه‌های بزرگ نیز آونگ فیزیکی دارای حرکت هماهنگ است ولی نه هماهنگ ساده.

توجه داشته باشید که مطالب فوق درباره یک جسم ورقه‌ای با هر شکل دلخواهی صادق است و نقطه آویز می‌تواند در هر جایی قرار داشته باشد به عنوان مثال یک مورد خاص، جرم نقطه‌ای m را که به انتهای نخ بدون وزنی به طول l آویخته شده است، در نظر می‌گیریم در این مورد داریم:

$$I = ml^2 \quad M = m \quad d = l$$

در نتیجه:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mgd}} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{g}}$$

که همان دوره تناوب آونگ ساده با دامنه کوچک است.



در مقایسه با رابطه (۱) می بینیم که $l = \frac{I}{Md}$ ، بنابراین در محاسبه زمان تناوب آونگ می توان تمام جرم آن را در نقطه ای به فاصله $l = \frac{I}{Md}$ از نقطه آویز O فرض کرد که این نقطه را مرکز نوسان آونگ می نامند.

هویگنس ثابت نمود که در همان صفحه و با همان مرکز جرم محور دیگری به موازات OCM و به فاصله مشخصی از مرکز جرم مانند $O'Z'$ وجود دارد که زمان تناوب نوسان آونگ حول آن مقدار

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mgd}} \text{ می باشد.}$$

کاتر برای اولین بار براساس نظریه هویگنس، آونگ مرکبی ساخت که می توانست حول دو محور O و O' نوسان کند.

d (cm)	زمان ۲۰ نوسان حول محور O	زمان یک نوسان حول محور O	زمان ۲۰ نوسان حول محور O'	زمان یک نوسان حول محور O'
۱۰				
۱۵				
۲۰				
۲۵				
۳۰				
۳۵				
۴۰				

۱۱ آزمایش ۱۱: آونگ مرکب

هدف آزمایش: بررسی رابطه مربوط به دوره تناوب آونگ فیزیکی

ابزار موردنیاز: دستگاه آونگ مرکب، تراز، شمارنده دیجیتال و سنسور u شکل

تئوری آزمایش:

همانطور که در آزمایش کاتر گفته شد، دور تناوب آونگ فیزیکی طبق رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mag}}$$

در این رابطه I لختی دورانی جسم و a فاصله مرکز جرم سیستم از محور دوران و m جرم کل سیستم می‌باشد. این سیستم شامل یک میله و سه استوانه فلزی که روی آن قرار گرفته می‌باشد (شکل ۱). برای محاسبه لختی دورانی سیستم باید لختی دورانی تک تک اجسام را تعیین و در رابطه زیر جایگذاری کنید.

$$I = I_{m_1} + I_{m_2} + I_{m_3} + I_M \quad (2)$$

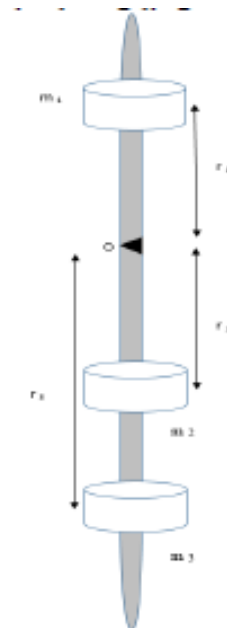
I_{m_1} لختی دورانی استوانه اول، I_{m_2} لختی دورانی استوانه دوم، I_{m_3} لختی دورانی استوانه سوم و I_M لختی دورانی میله است. لختی دورانی میله و استوانه‌ها طبق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$I_{m_1} = \frac{m_1 R_1^2}{4} + \frac{m_1 h_1^2}{12} + m_1 r_1^2$$

$$I_{m_2} = \frac{m_2 R_2^2}{4} + \frac{m_2 h_2^2}{12} + m_2 r_2^2$$

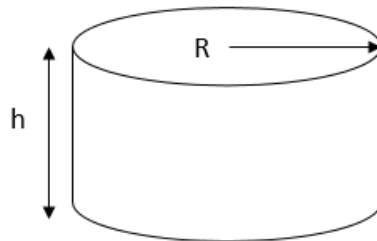
$$I_{m_3} = \frac{m_3 R_3^2}{4} + \frac{m_3 h_3^2}{12} + m_3 r_3^2$$

$$I_M = \frac{ML^2}{12} + Mr_M^2$$





که در این رابطه R شعاع استوانه، h ارتفاع استوانه، r فاصله مرکز جرم استوانه تا محور دوران، M جرم میله و L طول میله است. (در این آزمایش h, R, m برای هر سه استوانه یکسان است).



با جایگذاری در رابطه (۱) لختی دورانی کل سیستم به صورت زیر در خواهد آمد:

$$I = 3 \left(\frac{m_1 R_1^2}{4} + \frac{m_1 h_1^2}{12} \right) + m(r_1^2 + r_2^2 + r_3^2) + \left(\frac{ML^2}{12} + Mr_M^2 \right)$$

آزمایش در دو مرحله انجام می‌شود:

الف) مرکز جرم ثابت، لختی I متغیر

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mag}} \rightarrow T^2 = \frac{4\pi^2 I}{mga} \rightarrow \frac{T^2}{I} = \frac{4\pi^2}{mga} \rightarrow \frac{T_1^2}{I_1} = \frac{T_2^2}{I_2} = \frac{T_3^2}{I_3}$$

ب) مرکز جرم متغیر، لختی I ثابت

$$T^2 a = \frac{4\pi^2 I}{mg} \rightarrow T_1^2 a_1 = T_2^2 a_2 = T_3^2 a_3$$

مرکز جرم سیستم طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

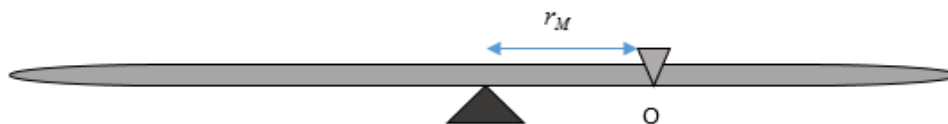
$$a = \frac{\sum_i m_i r_i}{\sum_i m_i} = \frac{m_1 r_1 - m_2 r_2 - m_3 r_3 - Mr_M}{m_1 + m_2 + m_3 + M}$$

مراحل انجام آزمایش:

۱- ابتدا مرکز جرم میله نوسانگر را تعیین کنید.

برای پیدا کردن مرکز جرم میله، آن را به حالت افقی بر روی یک تیغه قرار دهید، میله را آنقدر روی میله جابجا کنید

تا به حالت تعادل درآید. پس از پیدا کرن این نقطه، فاصله آن را تا لبه تیز کاردک (محور نوسان) اندازه بگیرید. فاصله مرکز جرم میله تا محور نوسان را r_M بنامید. (شکل ۲)



۲- دستگاه را مطابق شکل (۳) آماده کنید:

با کمک پیچ تنظیم، دستگاه را تراز کنید.

-وزنه ها را با توجه به شکل در فواصل تعیین شده قرار دهید.

-توجه کنید که یک وزنه در بالای محور دوران و دو وزنه دیگر در زیر آن قرار می گیرد.

۳- سنسور را در محل مناسب قرار دهید و شمارنده دیجیتال را برای 0 نوسان تنظیم کنید.

۴- آونگ را به مقدار کم از وضع تعادل خارج کرده و رها کنید، زمان نوسان را ثبت کنید.



شکل ۲: آونگ مرکب



- در مرحله اول آزمایش مکان استوانه ها را مطابق جدول های (۱-۱، ۲-۱، ۳-۱) تعیین و به ترتیب T_1 ، T_2 و T_3 را تعیین کنید و سپس درستی رابطه (۴) را تحقیق کنید و با توجه به مقدار دقیق $(\frac{4\pi^2}{mga})$ درصد خطای نسبی را محاسبه کنید.

- در مرحله دوم آزمایش مکان استوانه ها را مطابق جدول های (۱-۲، ۲-۲، ۳-۲) تعیین و به ترتیب T_1 ، T_2 و T_3 را تعیین کنید و سپس درستی رابطه (۵) را تحقیق کنید. در این حالت با توجه به اینکه باید لختی دورانی ثابت بماند پس باید r ها را بگونه ای تغییر دهیم که عبارت $(r_1^2 + r_2^2 + r_3^2)$ ثابت بماند، به همین منظور با جابجایی مکان استوانه ها با یکدیگر این جمله ثابت می ماند ولی مرکز جرم با این جابجایی تغییر می کند. در این حالت درصد خطای نسبی آزمایش را با توجه به مقدار دقیق $(\frac{4\pi^2 I}{mg})$ محاسبه کنید.

جدول (۱-۱)

r_1	r_2	r_3	T_1	I_1	$\frac{T_1^2}{I_1}$
۱۰	۱۵	۲۵			

جدول (۲-۱)

r_1	r_2	r_3	T_2	I_2	$\frac{T_2^2}{I_2}$
۵	۱۰	۲۵			

جدول (۳-۱)

r_1	r_2	r_3	T_3	I_3	$\frac{T_3^2}{I_3}$
۱۵	۲۰	۲۵			

جدول (۱-۲)



r_1	r_2	r_3	T_1	I_1	$T_1^2 a_1$
۱۰	۱۵	۲۰			

جدول (۲-۲)

r_1	r_2	r_3	T_2	I_2	$T_2^2 a_2$
۱۵	۱۰	۲۰			

جدول (۳-۲)

r_1	r_2	r_3	T_3	I_3	$T_3^2 a_3$
۲۰	۱۵	۱۰			

سوالات :

۱- عوامل خطا را ذکر کنید.

۲- چرا در رابطه مرکز جرم، همه‌ی جملات به غیر از جمله اول منفی است؟

۳- با جابجایی وزنه‌ها در یک جهت یکسان و یا در جهت خلاف یکدیگر، مرکز جرم سیستم چگونه تغییر می‌کند؟



۱۲ آزمایش ۱۲: بررسی حرکت تقدیمی ژيروسکوپ

هدف آزمایش: بررسی بقای اندازه حرکت زاویه ای

تئوری آزمایش:

قطعه ای که حول یک محور متقارن دوار می کند، در مقابل تغییر در راستای این محور مقاومتی از خود نشان می دهد که موسوم به اثر ژيروسکوپی می باشد. کاربرد های مهم اثر ژيروسکوپی در هواپیماها، کشتی ها، سیستم های کنترل موشک ها و مسافرت های فضایی بوده که در آنجا از ژيروسکوپ برای احساس حرکت دورانی یک جسم استفاده می گردد.

نیروی ناشی از اثر ژيروسکوپی گاهی می بایست در طراحی ماشین ها در نظر گرفته شود. این نیروها در هنگام پیچ زدن اتومبیل ها در یاتاقان های موتور اتومبیل، در توربین های زیر دریایی ها به هنگام غوطه ور شدن در یک دریای سنگین و در شفت موتور یک هواپیمای جت موقعی که تغییر جهت می دهد بروز می کند.

کمیت های دارای پایداری از مهم ترین مباحث در مکانیک و فیزیک هستند؛ اهمیت این کمیت ها از آن جهت است که ارتباط دهنده حالت کنونی سیستم مورد بررسی و حالت آن در گذشته و یا آینده می باشند. یکی از این کمیت ها تکانه زاویه ای است که در این آزمایش به بررسی و مشاهده آن خواهید پرداخت.

برای یک ذره که دارای حرکت دورانی است تکانه زاویه ای از رابطه زیر محاسبه میگردد:

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$$

که در آن L تکانه زاویه ای و p تکانه خطی و r بردار مکان ذره نسبت به محور دوران است. چنانچه مسیر حرکت ذره بر روی یک دایره واقع باشد اندازه L از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$L = rmv \quad (2)$$

که در آن v سرعت ذره است. اما می دانیم در حرکت دایره ای $v = r\omega$. با جانشانی این رابطه در رابطه (۲) خواهیم داشت:

$$L = mr^2\omega$$

مقدار mr^2 را به عنوان گشتاور لختی ذره تعریف می کنیم و آن را با I نشان می دهیم، بنابراین:

$$L = I\omega$$

روابط فوق را تنها برای یک ذره به دست آوردیم، چنانچه بخواهیم آن ها را برای یک جسم که از تعداد زیادی ذره تشکیل شده است به کار ببریم داریم:



$$L = \sum m_i r_i^2 \omega \quad \rightarrow \quad L = \omega \sum m_i r_i^2 \quad (5)$$

در رابطه فوق $\sum m_i r_i^2$ همان گشتاور لختی جسم است که به علت زیاد بودن تعداد ذرات تشکیل دهنده آن می‌توان آن را به صورت زیر نیز نوشت:

$$I = \int r^2 dm \quad (6)$$

بنابراین برای یک جسم نامشخص نیز رابطه (۴) برقرار است با این نکته که مقدار I از رابطه (6) محاسبه می‌شود.

پایستگی تکانه زاویه ای

برای یک سیستم در حال دوران که تحت تاثیر نیروهای خارجی قرار ندارد داریم :

$$L_1 = I_1 \omega_1$$

چنانچه سرعت و یا گشتاور لختی این جسم تحت تاثیر نیروهای داخلی آن تغییر کند خواهیم داشت:

$$L_2 = I_2 \omega_2$$

اما از آنجاییکه تکانه زاویه ای یک کمیت پایستار است داریم :

$$L_1 = L_2$$

و بنابراین :

$$I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2 \quad (7)$$

می‌بینیم که پایستگی تکانه زاویه ای ایجاب می‌کند که چنانچه از چهار کمیت رابطه (۷) سه کمیت آن معلوم باشد کمیت چهارم به راحتی بدست می‌آید.

ابزار موردنیاز :

صندلی چرخان، چرخ ژيروسکوپ همراه با دسته های مربوطه، وزنه های گاورنر 1 (عدد)، سه پایه ی زمینی بزرگ

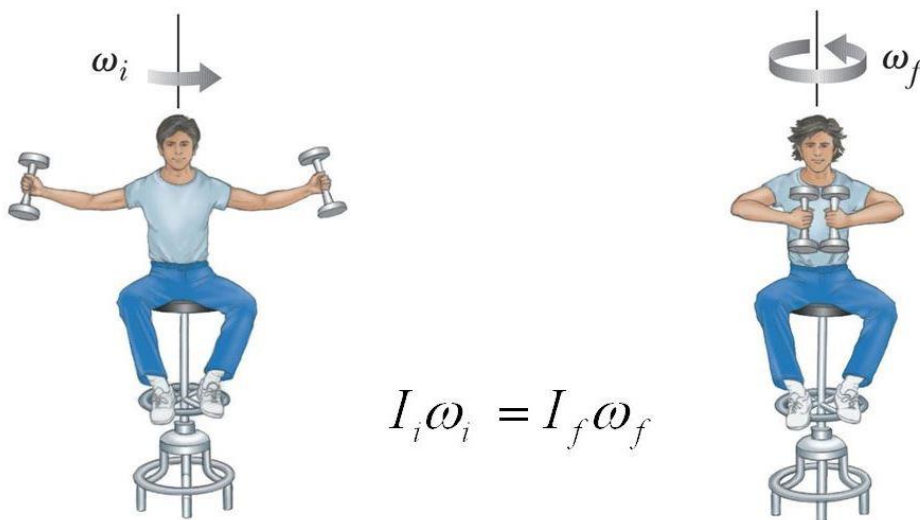
روش آزمایش :

الف) بر روی صندلی نشسته و وزنه ها را دست بگیرید و آن‌ها را به سینه خود بفشارید. سپس از هم گروهی خود بخواهید تا شما را بچرخاند. در هنگام چرخش سعی کنید تا دستان خود را کاملاً از یکدیگر باز کنید، چه اتفاقی می‌افتد؟ چرا؟

بلافاصله دست‌های خود را به حالت اول برگردانید، چه روی می‌دهد؟ چرا؟

ب) آزمایش قبل را بدون در دست گرفتن وزنه‌ها دوباره تکرار کنید و این بار دستان خود را مشت کرده و به سینه فشار داده و سپس دستانتان را کاملاً از یکدیگر باز کنید. این بار نیز توضیح دهید چه روی می‌دهد؟ تغییر سرعت دورانی نسبت به قسمت الف چه تغییری می‌کند؟ چرا؟

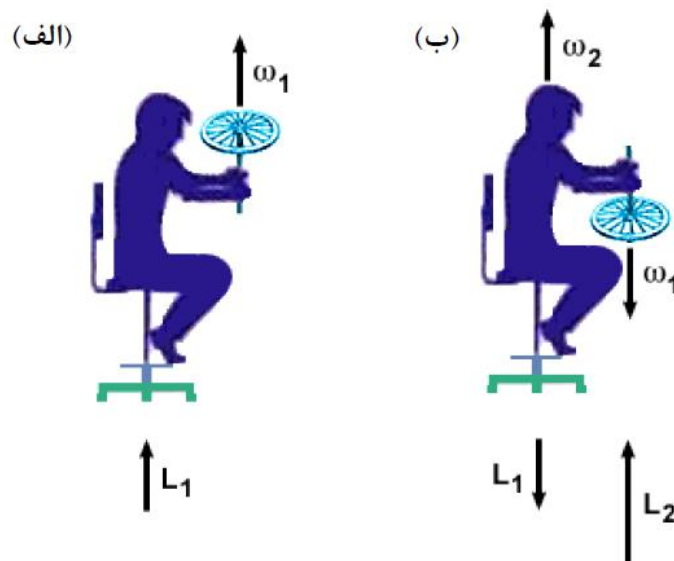
$$L = I\omega = \text{const}$$



شکل ۱-۱۲

پ) بر روی صندلی نشسته و چرخ را با دو دست به گونه‌ای بگیرید که محور آن به موازات قامت شما (یا به موازات سطح زمین) باشد. از هم گروهی خود بخواهید تا چرخ را بچرخاند. محور چرخ را بطور ساعت گرد طوری حرکت دهید تا محور آن کاملاً معکوس شود. این بار نیز توضیح دهید چه اتفاقی می‌افتد و چرا؟

آزمایش را مجدداً تکرار کنید و این بار محور چرخ را پادساعتگرد بچرخانید. چه تغییری در نتایج مشاهده می‌کنید؟



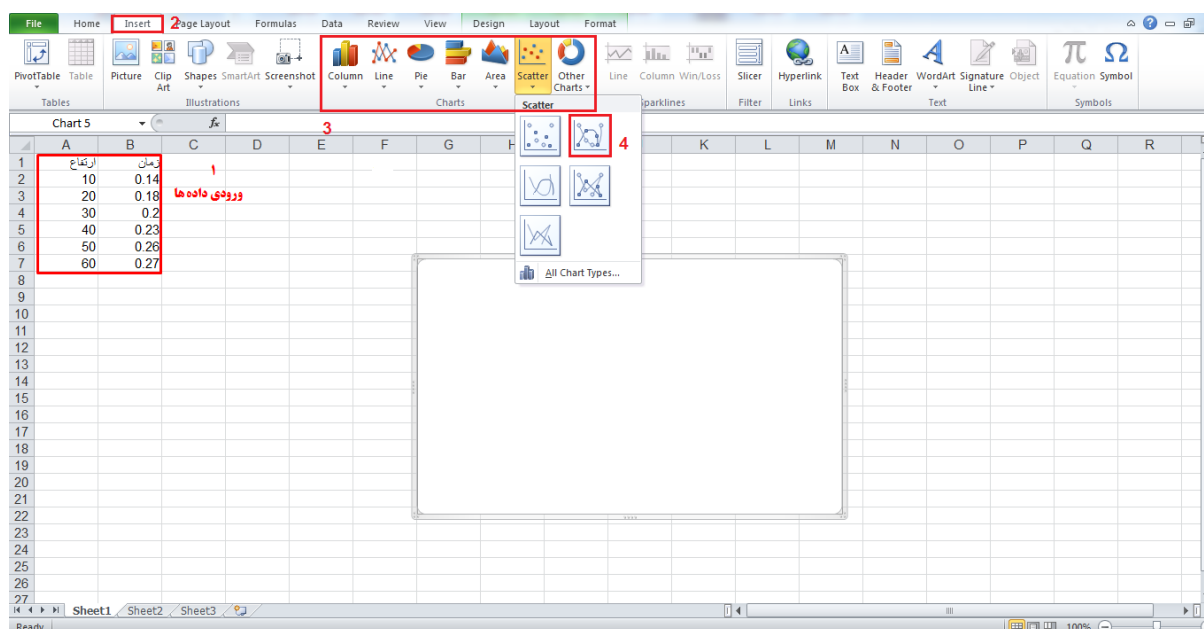
شکل ۱۲-۲

ت) از روی صندلی برخیزید. چرخ را با یک دست طوری نگه دارید که محور آن افقی باشد. از هم گروهی خود بخواهید تا آن را بچرخاند. سعی کنید انتهای آزاد محور را به سمت بالا حرکت دهید، بدون اینکه محور از صفحه قائمی که در آن واقع است خارج شود. احساس می‌کنید نیرویی به دستتان وارد می‌شود. جهت این نیرو به کدام سمت است؟

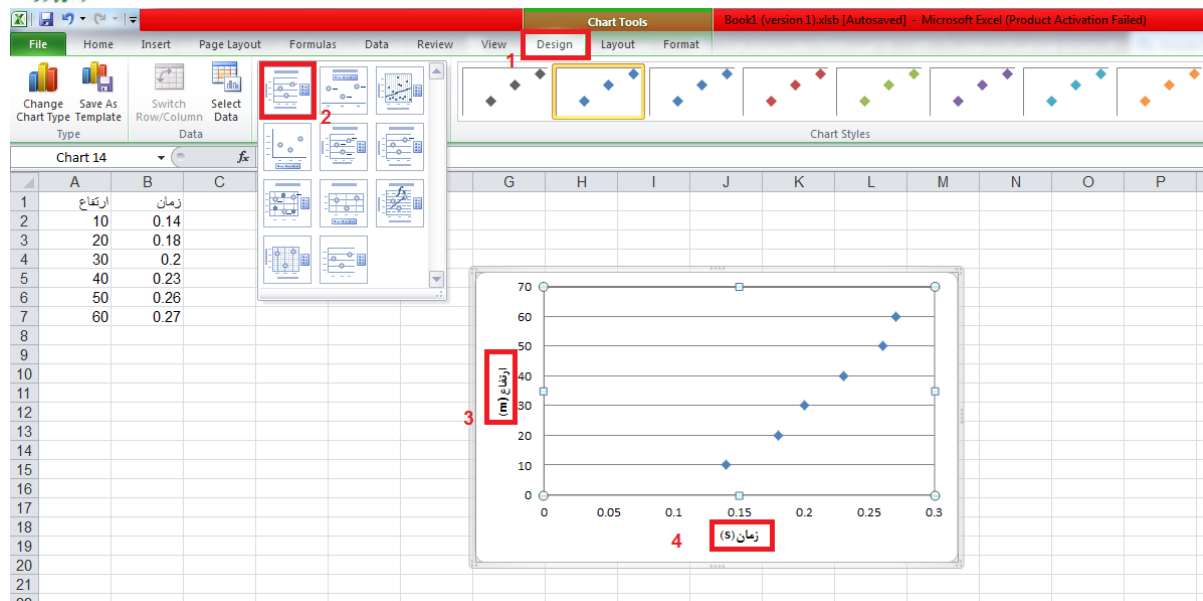
سعی کنید انتهای آزاد محور را به سمت پایین حرکت دهید، جهت نیرو چه تغییری می‌کند؟ چرا؟

رسم نمودار در اکسل :

اولین قدم در ترسیم نمودار مربوط به یک سری داده، وارد نمودن اطلاعات در ستون‌های مربوط به اکسل می‌باشد. از این رو برای ترسیم نمودار، یک سری داده را در ستون A و یک سری دیگر را در ستون B مقابل داده‌های سری اول و متناظر با آن نوشته سپس از گزینه Chart در منوی INSERT مدل نمودار Scatter with smooth lines and markers را انتخاب می‌کنیم. در صورتی که داده‌ها به صورت دو ستون در کنار هم در صفحه گسترده وارد شده باشند، اکسل به‌طور خودکار ستون اول را برای محور X ها و ستون دوم را برای محور Y ها در نظر خواهد گرفت، البته امکان ویرایش داده ها برای نمودار در تمامی مراحل امکانپذیر است.



پس از رسم نمودار اولیه توسط اکسل می‌بایست فرمت نمودار را بر طبق آنچه مدنظر است تنظیم نمود. از این رو جهت نمایش یک نمودار نرمال برای گزارش‌های آزمایشگاهی، ما نمونه ۱ را انتخاب می‌کنیم.



سایر تنظیمات و تغییرات را هم به اختصار در زیر بیان کرده و مابقی را بر عهده دانشجوی گرامی واگذار می‌نماییم.

در قسمت Titles می‌توان عنوان را به فارسی یا انگلیسی وارد نمود.

در زیر محور افقی می‌توان Value (x) Axis را "ارتفاع" نوشت.

در زیر محور عمودی می‌توان Value (y) Axis را "زمان" نوشت.

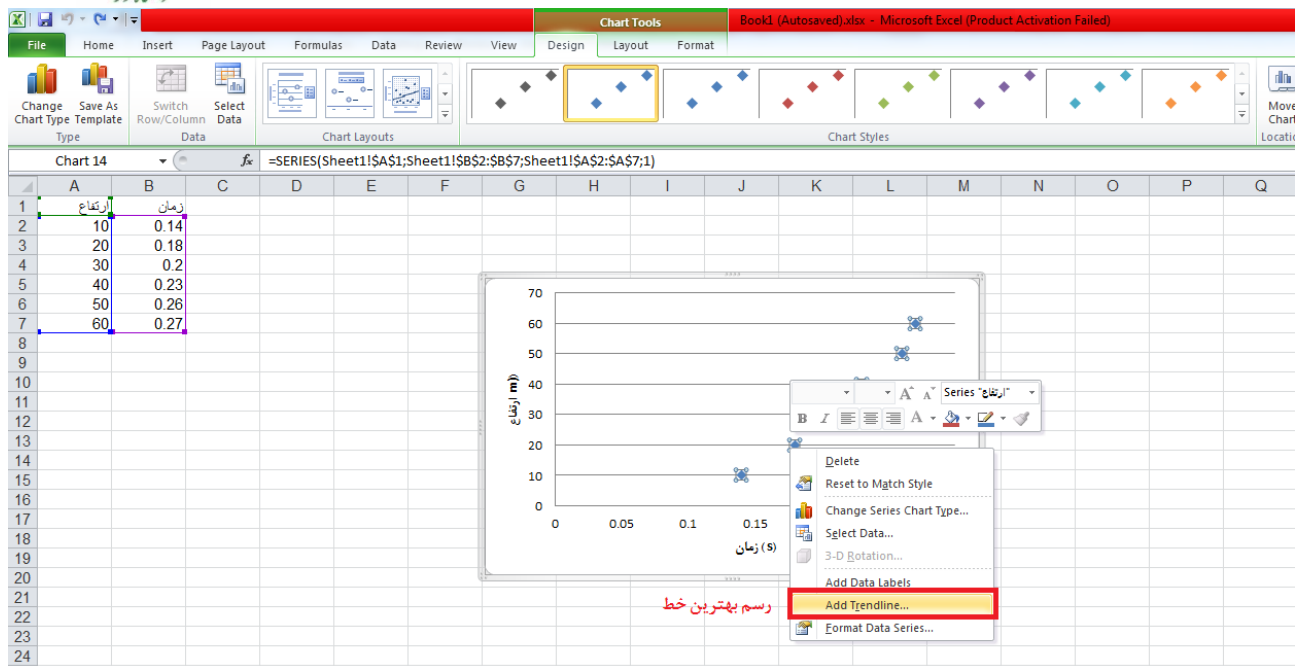
در صورتیکه تمایل داشتید هر قسمتی از نمودار را پاک کنید صرفاً کافی ست آن را انتخاب کرده و Delete را فشار دهید.

رسم منحنی‌های عبوری مختلف از نقاط نمودار با کلیک بر روی صفحه نمودار رسم شده و انتخاب منوی Design و

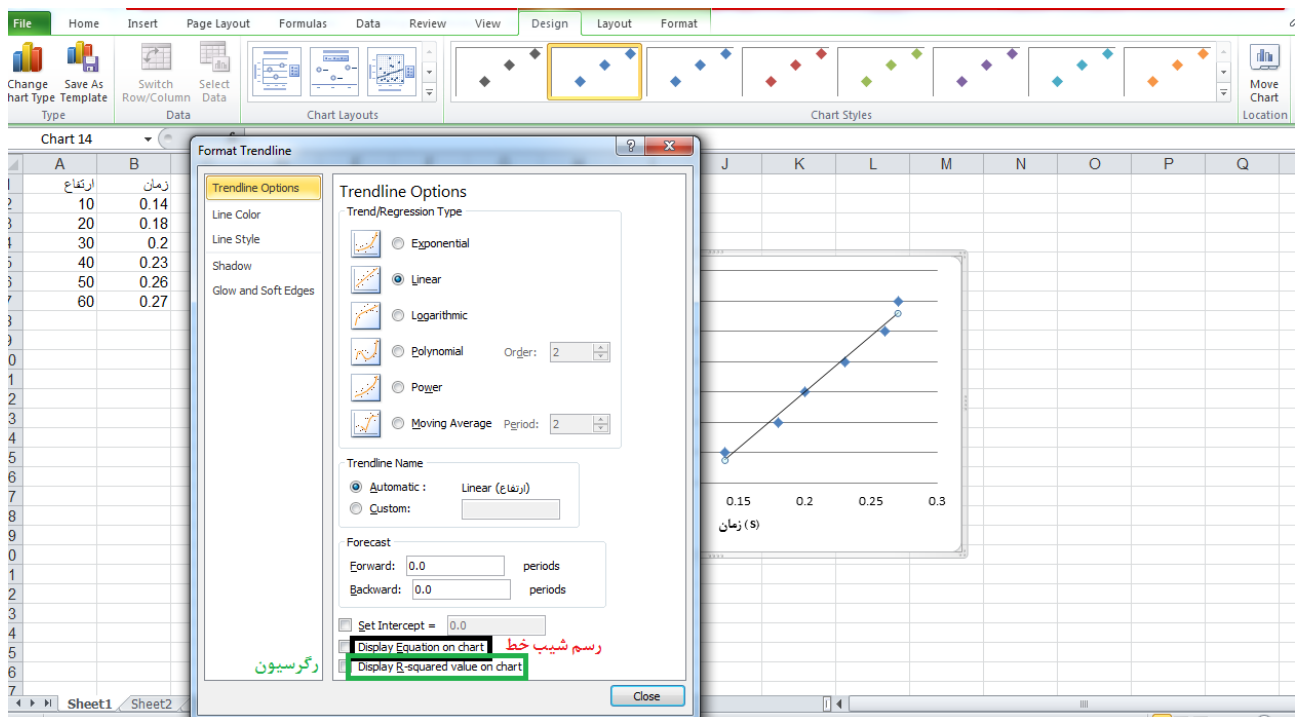
گزینه Add Chart Element و نگه داشتن ماوس بر روی Trendline و کلیک بر روی More Trendline Options

پنجره‌ای تحت عنوان Format Trendline باز می‌شود که می‌توان بهترین شیب عبوری از نقاط رسم شده را با انتخاب

گزینه Linear ترسیم نمود. سایر گزینه‌ها نیز می‌توانند در زمان موردنیاز استفاده شوند.



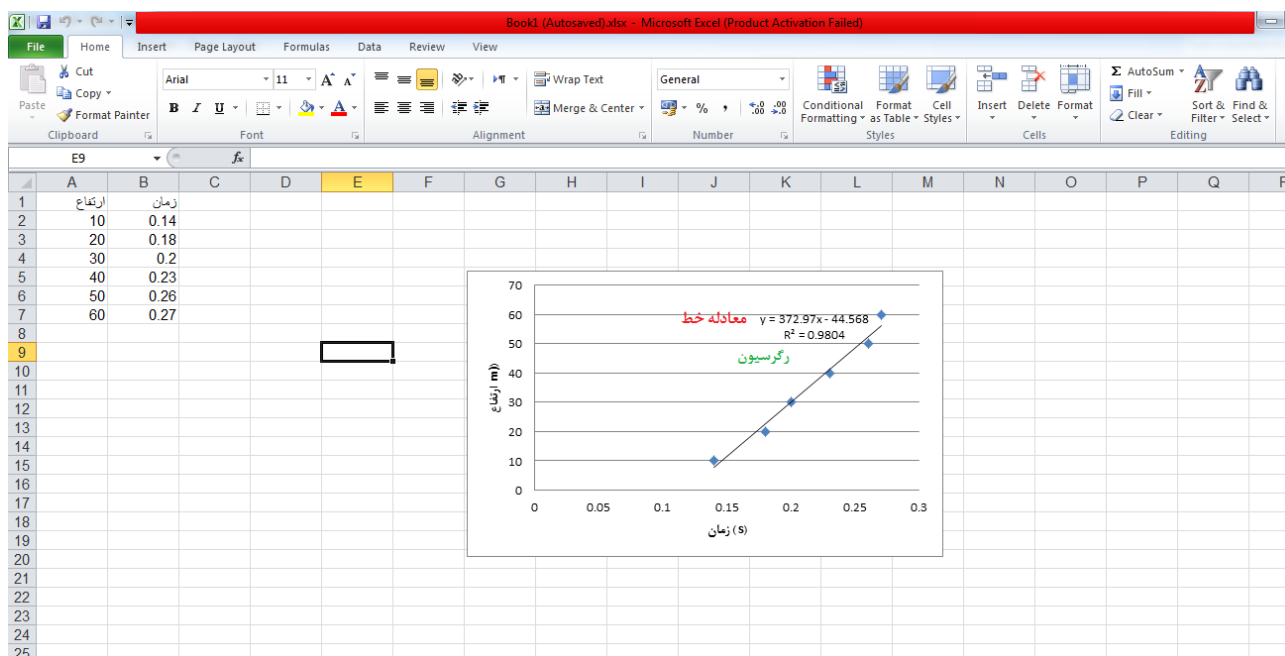
سپس به انتهای پنجره Format Trendline رفته و گزینه Display R-squared value on chart هم رگرسیون (R^2) یا معیار میزان تطابق کمیات با نمودار را نمایش می‌دهد.



لازم به ذکر است یادآور شویم برای هرگونه تغییر در هر یک از قسمت‌های سطح نمودار، عنوان نمودار، محور مقادیر افقی، محور مقادیر عمودی، خط‌های محور x ، خط‌های محور y ، رسم بهترین خط، رگرسیون و... فقط کافیست در پنجره فعال



سمت چپ در قسمت TRENDLINE OPTIONS بر روی هر یک از موارد یاد شده کلیک کرده تا پنجره مربوط به آن باز شود و بتوان تغییرات موردنظر را بر روی آن اعمال نمود.



کارهای محاسباتی در اکسل:

در اکسل می‌توان برخی محاسبات را با فرمول نویسی به صورت ساده انجام داد. به عنوان مثال در آزمایش آونگ ثنوری می‌دانیم:

$$t = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \rightarrow g = 4\pi^2 \frac{l}{g}$$

می‌خواهیم به ازای هر طول و زمان g مربوطه را حساب کنیم. ماوس را به سلول C15 برده و عبارت زیر را تایپ می‌کنیم: دقت داشته باشید که سلول‌های A2 و B2 را می‌توان با کلیک چپ کردن ماوس بر روی آن‌ها در عبارت مزبور انتخاب نمود. پس از زدن inter مقدار g برای داده‌های سطر اول (A2 و B2) محاسبه خواهند شد. برای محاسبه سطرهای دیگر فقط کافی‌ست پس از محاسبه مقدار، سلول C15 را انتخاب کرده و با نگه داشتن کلید سمت چپ ماوس بر روی گوشه پایینی سمت راست سلول و کشیدن آن تا 8 سلول پایین‌تر همین فرمول را برای سایر سطرها بسط داده و محاسبه مربوط به آن‌ها را انجام داد.

$$f_x = 4 * \pi^2 * A2 / B2^2$$



جهت اطمینان از درستی عمل انجام شده کافی است بر روی تک تک سلول‌های C_{16} تا C_{22} کلیک کرده و از نوار ابزار مربوطه فرمول مورد محاسبه را مشاهده نمود.

در پایان پیشنهاد می‌شود جهت استفاده از امکانات بیشتر این نرم افزار به help آن و یا سایر کتاب‌هایی که در این زمینه نوشته شده است مراجعه شود.