بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی قم

آزمایشگاه فیزیک پایه ۱

برای کلیه رشته‌ها

تهیه و تنظیم:

مونا گشتاسبی

فهرست

عنوان **صفحه**

هدف‌های آزمایشگاه فیزیک پایه ٤
رفتار در آزمایشگاه ٤
دفتر آزمایشگاه ٥
گزارش کار آزمایشگاه ٥
روش نوشتن یک گزارش خوب ٥
خطاهای اندازه‌گیری ٦
الف) خطای شخص ٦
ب) خطای وسیله ٦
ج) خطای تصادفی ٦
خطای محیط ٧
الف) اندازه‌گیری مستقیم، میانگین و خطای آن ٧
ب) اندازه‌گیری غیر مستقیم، میانگین و خطای آن ٩
رسم نمودار با اکسل ١٢
آزمایش شماره ١: آشنایی با وسایل اندازه‌گیری ١٥
آزمایش شماره ٢: برآیند نیروها ٢١
آزمایش شماره ٣: آونگ ساده ٢٤
آزمایش شماره ٤: نیروی اصطکاک ٢٧
آزمایش شماره ٥: سقوط آزاد ٣١
آزمایش شماره ٦: ماشین آتوود ٣٣
آزمایش شماره ٧: چگالی اجسام و قانون ارشمیدس ٣٧
آزمایش شماره ٨: قانون هوک ٤١
آزمایش شماره ٩: گشتاور لختی دورانی (اینرسی دورانی) ٤٧
آزمایش شماره ١٠: حرکت پرتابی ٥١
آزمایش شماره ١١: آونگ فیزیکی ٥٣
آزمایش شماره ١٢: آونگ مرکب ٥٦

هدف‌های آزمایشگاه فیزیک پایه

۱. کمک به فهم بهتر اصول فیزیکی که در درس نظری مربوطه خوانده شده است.
۲. آشنایی با یک سری روش‌های آزمایشگاهی مقدماتی.
۳. پرورش مهارت دانشجو در گزارش دقیق نتایجی که از آزمایش خود به دست می‌آورد.

رفتار در آزمایشگاه

برای این که از وقت محدود آزمایشگاه، بیش‌ترین استفاده به عمل آید، رعایت نکات زیر ضروری است:

1. حضور به موقع و مداوم در آزمایشگاه الزامی است.
2. به محض شروع دوره، باید مربی، شمارهٔ گروه، نام همکاران، و میز کار خود را بشناسید.
3. از روز اول باید دفتری همراه داشته باشید تا تمام اطلاعات لازم را طبق دستورالعمل، در آن یادداشت کنید.
4. پیش از شروع جلسهٔ آزمایشگاه، باید دستور کار آن جلسه را مطالعه کرده و برنامهٔ کاری آن روز را به خوبی فهمیده باشید. اگر ابهامی در این باره دارید، با مربی یا هم گروهی‌های مطلع خود مشورت کنید.به هر حال هر ابهامی چه در مورد روش آزمایش و چه در مورد موضوع آزمایش، می‌تواند دقت و زحمت شمار را هدر دهد.
5. پس از شروع به کار، بررسی کنید که آیا همه وسایل مورد نیاز، روی میز آزمایش قرار گرفته‌اند یا نه. همچنین از سالم بودن آن‌ها اطمینان حاصل کنید. اگر طرز کار وسیله‌ای را نمی‌دانید، هر چه زودتر از مربی خود بپرسید، و پیش از این کار، از دست کاری آن جدا خودداری کنید. و فراموش نکنید که وسایل آزمایش، اسباب بازی نیستند.
6. در ضمن کار، باید مقررات ایمنی را رعایت کرده و مواظب باشید که به خود یا وسایل آسیب وارد نشود.
7. در تمام مدت کار در آزمایشگاه، باید سعی کنید که از سر میز کار خود دور نشوید. از رفت و آمدهای غیرضروری در حیطهٔ آزمایشگاه خودداری کنید. اگر سؤالی برای پرسیدن دارید، باید کنار میز خودتان منتظر مربی باقی بمانید.
8. اعضای هر گروه، به طور جمعی، مسئول وسایل روی میز خود هستند، و در پایان کار باید وسایل آزمایش را صحیح و سالم تحویل دهند.
9. در حین آزمایش، بهتر است فکر خود را به کار انداخته، و ابتدا تلاش کنید که پاسخ سؤال پیش آمده را خودتان بیابید. اگر نشد، با هم گروهی‌های خود مشورت کنید، و اگر باز هم به جوابی نرسیدید، از مربی خود کمک بگیرید.
10. در ضمن آزمایش، بهتر است با انجام محاسبات تقریبی، از درستی راه و روش خود اطمینان حاصل کنید؛ اما انجام محاسبات دقیق را به بعد از انجام آزمایش موکول کنید.

11. ازهمان ابتدای آزمایش، مراقب منابع خطای اندازه‌گیری باشـــید و ســـعی کنید که تا جای ممکن، از میزان خطاها کاسته شود.
12. پس از انجام آزمایش، و سایل آزمایش را روی میز به حالت اولیهٔ خود برگردانید، و سپس آزمایشگاه را ترک کنید.
13. پیش از ترک آزمایشگاه دفتر کار خود را به امضای مربی بر سانید. مربی کار شما را بررسی خواهد کرد تا نواقص احتمالی در داده‌های‌تان، در همان جلسه رفع شود.

دفتر آزمایشگاه

در ضمن انجام آزمایش، یادداشت اندازه‌گیری‌ها، انجام عملیات محاسباتی، و یادداشت نکات دیگر، ضروری است. از این رو، هر دانشجو بایستی دفتری را برای آزمایشگاه خود اختصاص دهد. همهٔ مشاهدات، و نیز نتایج خود را همراه با واحد و خطای متّصـــف به آن‌ها باید به صـــورتی تمیز و دقیق، در این دفتر ثبت کنید. یک دفتر آزمایشـــگاه خوب، دفتری اســـت که اگر شـــخص دیگری آن را مطالعه کند، بتواند اطلاعات لازم و کافی در مورد آمایش انجام شـــده را به دست آورد.

گزارش کار آزمایشگاه

روش اســـتاندارد برای ارتباطات علمی و فنی در کارهای آزمایشـــگاهی، تهیهٔ گزارش کار کامل و دقیق برای آزمایش‌های انجام گرفته است. در حقیقت، در بیش‌تر موارد، تهیهٔ گزارش کار، تنها راه ممکن برای در جریان گذاشتن اشخاص یا گروه‌های علاقه‌مند به یک تجربهٔ خاص است. از این رو، گزارش کار باید طوری تهیه شود که اطلاعات لازم را هر چه دقیق‌تر و واضـــح‌تر در اختیار خوانندهٔ آن قرار دهد. فراموش نکنید که نوشـــتن یک گزارش کار دقیق، واضـــح و کامل، نیاز به کار و تمرین زیاد دارد. به هر حال، هر دانشـــجو بایســـتی گزارش کار مربوط به هر آزمایش را حداکثر تا یک هفته بعد از انجام آزمایش، به مربی خود تحویل دهد.

روش نوشتن یک گزارش کارخوب

یک گزارش کار خوب باید دارای قسمت‌های زیر باشد:

در صفحهٔ اول گزارش کار باید اطلاعات زیر درج شده باشد:

نام و نام خانوادگی، موضوع آزمایش

شمارهٔ دانشجوی، گروه آزمایشگاه

تاریخ انجام آزمایش، نام هم‌گروهی‌ها

صفحات بعدی گزارش کار، بایستی شامل قسمت‌های زیر باشد:

۱) عنوان آزمایش ۲) هدف آزمایش ۳) مبانی نظری آزمایش

٤) وسایل آزمایش ۵) روش انجام آزمایش ٦) جدول‌های اندازه‌گیری

۷) نمودارها ۸) نتایج آزمایش ۹) بحث در نتایج

۱۰) محاسبهٔ نمونه ۱۱) پاسخ به سؤالات

خطاهای اندازه‌گیری

در اندازه‌گیری کمیت‌های فیزیکی خطا اجتناب ناپذیر است و یا بهتر است گفته شود خطا جزء جدا نشدنی اندازه‌گیری به شمار می‌آید. از این رو در اندازه‌گیری کمیت‌ها به اندازه و نیز منابع خطا باید همواره توجه شود. به عبارت دیگر مطالعه و شناخت خطا ما را در یافتن روش‌های کاهش آن برای د ستیابی به نتیجه بهینه سازی می‌دهد. به این ترتیب از میزان خطا تا به اندازه‌ای می‌توان کاست که از اثر آن بر نتایج به دست آمده از اندازه گیری، بتوان چشم‌پوشی کرد.

خطاهای وارد شده در اندازه‌گیری کمیت‌ها از منابع بسیاری نا شی می شود. در یک د سته‌بندی می‌توان سه عامل عمده خطا را معرفی کرد:

الف) خطای شخص

خطای شخص از عدم دقت شخص، و عدم مهارت شخص با و سیله مورد آزمایش، ندا شتن عکس‌العمل سریع هنگام اندازه‌گیری و نیز نداشتن آگاهی کافی از روش درست محاسبات ناشی می‌شود. برخی از این خطاها قابل کنترل و برخی غیرقابل کنترل هستند.

ب) خطای وسیله

خطای وسیله ناشی از فرسودگی وسیله یا عدم انتخاب مناسب وسیله است.این خطا همچنین به میزان حساسیت وسیله هم بستگی دارد. هر قدر حساسیت دستگاه بیشتر باشد خطای وسیله کمتر است. خطای وسیله قابل کنترل است. در دستگاه‌هایی که باید از روش انطباق چشمی یک خط بر یک نشانه دستگاه استفاده کرد، بحث تخمین خطا به نحوه تشخیص آزمایشگر بر می‌گردد. مثلا اگر در یک خط کش فاصله دو نشانه آن قدر زیاد باشد که بتوان وسط دو نشانه را با دقت خوبی تشخیص داد، می‌توان اعداد را با دقت نصف واحد معرفی کرد (مثلا $\pm ۰.۵mm$). در غیر این صورت خطا را یک واحد دستگاه در نظر می‌گیریم.

ج) خطای تصادفی

گاهی اوقات وسیلهٔ اندازه‌گیری دقت بالایی دارد، ولی تکرار اندازه‌گیری نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد. در این موارد بحث خطای تصادفی اهمیت می‌یابد و باید تحلیل آماری روی اندازه‌گیری انجام داد.

فرض کنید با یک زمان‌سنج (با دقت ۰/۰۱ ثانیه) می‌خواهیم زمان ۲۰ نوسان یک آونگ را بگیریم و داده‌های زیر به دست آمده‌اند:

$$18.71s\ ,\ 18.54s\ ,\ 18.56s\ ,\ 18.79s$$

در این صورت زمان ۲۰ نوسان را میانگین اعداد بالا در نظر می‌گیریم.

برای تخمین خطای این اندازه‌گیری، روش‌های ریاضی خاصی وجود دارد، ولی یک روش ساده برای تخمین خطا استفاده از رابطه زیر است:

$$\textbf{خطا تصادفی} = \frac{\textbf{اختلاف بین کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین مقدار}}{\textbf{تعداد اندازه‌گیری‌ها}} = \frac{18.79-18.54}{4} = 0.0625$$

پس به طور خلاصه عدد نهایی را به صورت (خطا $\pm$ میانگین $= x$) گزارش می‌کنیم.

نکته مهم: اگر خطای تصادفی از خطای وسیلهٔ اندازه‌گیری بیشتر شد، نمایش به شکل بالا درست است، وگرنه باید همان خطای وسیله را کنار میانگین قرار داد.

قرارداد: برای آن که وضعیت یکسانی در نمایش خطا و مقدار اندازه‌گیری ایجاد شود، لازم است خطا با یک یا دو رقم معنی‌دار نوشته شود. در ضمن، نتیجهٔ اندازه‌گیری نیز باید تا همان ارقام اعشاری که خطا نوشته شده، بیان گردد. مثلا $t = (۳.۷۸۶ \pm ۰.۱)s$ قابل قبول نیست، زیرا وقتی خطا ۰/۱ باشد، عدد اصلی را نیز باید تا یک رقم اعشار گرد کرد: $t = (۳.۸ \pm ۰.۱)s$

خطای محیط

خطاهای ناشی از عوامل محیطی مانند تغییرات فشار و دما، جریان هوا، تغییر نور محیط، یا حتی وجود گرد و غبار نیز از عوامل مؤثر در انحراف اندازه کمیت از مقدار واقعی آن است. خطاهای غیرقابل پیش‌بینی محیط معمولاً غیرقابل کنترل هستند. خطای وارد در اندازه‌گیری می‌تواند به طور منظم (سیستماتیک) یا نامنظم (اتفاقی یا تصادفی) روی داده‌ها تأثیر بگذارد.

تذکر: در محاسبه عددی خطاها Δx باید موارد زیر را وارد کرد:

Δx = خطای شخص + خطای دستگاه اندازه‌گیری + خطای تصادفی+ خطای محیط

در این جا به معرفی اجمالی روش‌هایی ساده برای محاسبه اندازه کمیت به همراه خطای آن می‌پردازیم.

الف) اندازه‌گیری مستقیم ؛ میانگین و خطای آن

خطایی که در اثر مقایسه دو کمیت هم جنس اتفاق می‌افتد، مثلا وقتی که بخواهیم طول جسمی را اندازه بگیریم.

اگر کمیت x را در شرایط کاملا یکسان n بار اندازه‌گیری کنیم، میانگین داده‌ها (به عنوان اندازه کمیت) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n} x_i$$

که در آن x_i معرف اندازه کمیت در اندازگیری iام است.

خطای میانگین

خطای میانگین را برابر بیشینه انحراف از میانگین در نظر می‌گیریم ؛ یعنی

$$\Delta\overline{x} = |x_i - \overline{x}|_{max}$$

میزان انحراف اندازه کمیت از مقدار واقعی آن را خطای اندازه‌گیری می‌نامیم.

اگر اندازه کمیت را با x و خطای آن را با Δx نشـــان دهیم، مقدار واقعی کمیت عددی اســـت بین $x - \Delta x$و $x + \Delta x$. بدین ترتیب نتیجه اندازه‌گیری به صورت $x \pm \Delta x$ نشان داده می‌شود که نشان دهنده اندازه کمیت و خطای موجود در اندازه‌گیری آن می‌باشد.

Δx که معرف حداکثر اختلاف کمیت با مقدار واقعی آن اســت را **خطای مطلق** می‌نامند. دقت عددی خطای مطلق با دقت عددی اندازه کمیت با هم برابر اســت. این خطا نمی‌تواند برابر صـفر باشـد، چرا که خطای مطلق صـفر معرف دقت بی‌نهایت در انجام آزمایش است. خطای مطلق حداقل برابر دقت وسیله اندازه‌گیری است.

نســبت خطای مطلق به اندازه کمیت را **خطای نســبی** و درصــد آن را **درصــد خطای نســبی** می‌نامند. اگر نتایج اندازه‌گیری یک کمیت را با x_1وx_2و ... و x_n نمایش دهیم مقدار متوســط عددی $x = (x_1 + x_2 + \cdots + x_n)/n$ را می‌توان اندازه آن کمیت اختیار کرد و بزرگ‌ترین مقادیر $|x_n - x|, \ldots, |x_1 - x|$ را **خطای ماکزیمم** گویند.

هنگامی که یک یا چند نتیجه اندازه‌گیری از مقدار متو سط اختلاف اتفاقی قابل ملاحظه دا شته با شد در محا سبات مربوط به خطا، خطای متوسط را در نظر می‌گیرند:

م یانگین − عدد ا ندازه‌گیری شـــده =

(خطای مطلق)Δx

بزرگترین اختلاف از م یانگین = خ طای

مطلق ماکزیمم

$$\textbf{خطای نسبی} \equiv \frac{\Delta x}{x}$$

$$\textbf{درصد خطای نسبی} \equiv \frac{\Delta x}{x} \times 100$$

هر قدر خطای نسبی در اندازه‌گیری آن کمیت بیشتر بوده و در این حالت می‌توان حساسیت را که عکس خطای نسبی است، تعریف کرد. پس هر قدر حساسیت اندازه گیری بیشتر باشد اندازه‌گیری دقیق‌تر است.

مثال: جرم جســمی را به کمک ترازوی یک کفه‌ای با دقت ۰/۱ گرم ســه بار اندازه‌گیری کرده مقادیر ۱۲/۱، ۱۲/۲، ۱۲/٦ گرم را بدست آوردیم. اندازه جسم و درصد خطای نسبی در اندازه‌گیری جرم را به دست آورید.

۳	۲	۱	

$(m \pm \Delta m)gr$	۱۲.۱ ± ۰.۱	۱۲.۲ ± ۰.۱	۱۲.٦ ± ۰.۱

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^{r} m_i}{3} = \frac{12.1+12.2+12.6}{3} = 12.3\ gr$$

$$\Longrightarrow \Delta\bar{m} = |m_i - \bar{m}| = |12.6 - 12.3| = 0.3\ gr$$

$$\Longrightarrow \bar{m} \pm \Delta\bar{m} = (12.3 \pm 0.3)gr$$

$$\Longrightarrow \frac{\Delta\bar{m}}{\bar{m}} = \frac{0.3}{12.3} = 0.02$$

در نتیجه درصد خطای نسبی برابر ۲٪ خواهد بود.

ب) اندازه‌گیری غیر مستقیم ؛ میانگین و خطای آن

اگر بخواهیم با داده‌های اندازه‌گیری شده و روابط بین کمیت‌ها به اندازه کمیت دیگری به طور غیر مستقیم دست یابیم، کافی است مقادیر میانگین داده‌ها در فرمول مورد نظر جاگذاری کنیم تا اندازه کمیت مورد نظر به دست آید.

برای محاسبه خطای چنین کمیت‌هایی باید فرمول خطای محاسبه را به دست آوریم. برای این منظور حالت‌های زیر را در نظر می‌گیریم.

خطای حاصل جمع و تفریق

در حالت جمع و تفریق دو یا چند کمیت خطای مطلق کل مساوی مجموع خطاهای مطلق آن کمیت‌هاست. اگر Δa و Δb خطای مطلق کمیت های a و b باشد، Δx خطای مطلق کمیت $x = a + b$ برابر است با $\Delta x = \Delta a + \Delta b$

و اگر $y = a - b$ باشد، برای محاسبه خطای مطلق Δy برابر $\Delta a - \Delta b$ خواهد شد! اما با توجه به این که عوامل خطا یکدیگر را حذف نمی‌کنند (یعنی باعث کم شدن خطای مطلق نمی‌شوند) برای محاسبه حداکثر خطا بنا به قرارداد، علامت – به + تبدیل می‌شود، بنابراین $\Delta y = \Delta a + \Delta b$ خواهد شد.

بدین ترتیب خطای نسبی حاصل جمع $\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a+\Delta b}{a+b}$ کوچک‌تر از خطای نسبی حاصل تفریق $\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta a+\Delta b}{a-b}$ است.

خطای حاصل از توابع مختلف

روش ln گیری

با استفاده از خاصیت دیفرانسیلی تابع $\ln(u)$ به راحتی می‌توان فرمول خطای هر رابطه‌ای را به دست آورد. با توجه به تعریف، دیفرانسیل تابع $\ln(u)$ برابر است با :

$$y = ln(u) \Longrightarrow dy = \left(\frac{1}{u}\right) du = \frac{du}{u}$$

که با تقریب می‌توان دیفرانسیل متغیرها را با تغییرات آن‌ها جایگزین کرد. بدین ترتیب کافی است از طرفین رابطه مورد نظر ln گیری کرده و به دنبال آن دیفرانسیل گرفته و دیفرانسیل هر متغیر را با تغییرات آن متغیرجایگزین کرد. به عنوان مثال برای محاسبه خطای حاصل ضرب دو کمیت داریم:

$$\boldsymbol{u = ab \Longrightarrow ln\, u = ln\, a + ln\, b}$$

$$\boldsymbol{d(ln\, u) = d(ln\, a) + d(ln\, b) \Longrightarrow \frac{du}{u} = \frac{da}{a} + \frac{db}{b}}$$

$$\boldsymbol{\frac{\Delta u}{u} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \Longrightarrow \Delta u = u\left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}\right)}$$

نیتجه بالا را می‌توان از ضرب مستقیم دو کمیت نیز به دست آورد، به طوری که:

$$\boldsymbol{u \pm \Delta u = (a \pm \Delta a)(b \pm \Delta b) = ab \pm (a\Delta b + b\Delta a) + \Delta a \Delta b}$$

با توجه به این که $\boldsymbol{\Delta a}$ و $\boldsymbol{\Delta b}$ اعداد کوچکی هستند، چنان‌چه از $\boldsymbol{\Delta a \Delta b}$ چشم پوشی کنیم، داریم:

$$\boldsymbol{\Delta u = a\Delta b + b\Delta a = ab\left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}\right)}$$

که همان نتیجه قبلی است.

در حالت کلی اگر $u = a \times b \times c$ باشد داریم $\frac{\Delta u}{u} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} + \cdots$

به روش مشابه می‌توان خطای حاصل تقسیم را (با توجه به این مطلب که خطاها یکدیگر را حذف نمی‌کنند) به دست آورد.

در حالت ضرب و تقسیم دو یا چند کمیت خطای نسبی حاصل مساوی مجموع خطاهای نسبی هر یک از آن کمیت‌هاست.

روش دیفرانسیل‌گیری

تابع $\boldsymbol{x = f(a,b) = ab}$ با دیفرانسیل‌گیری نسبت به هر کدام از متغیرها داریم:

$$\boldsymbol{\Delta x = \frac{\partial f}{\partial a}\Delta a + \frac{\partial f}{\partial b}\Delta b = b\Delta a + a\Delta b}$$

$$\boldsymbol{\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \Longrightarrow \Delta x = x\left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}\right)}$$

تابع $\boldsymbol{f(a,b) = \frac{a}{b}}$ داریم:

$$\boldsymbol{\Delta y = \frac{\partial f}{\partial a}\Delta a + \frac{\partial f}{\partial b}\Delta b = \frac{1}{b}\Delta a + \frac{-a}{b^2}\Delta b}$$

$$\boldsymbol{\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta a}{a} - \frac{\Delta b}{b} \Rightarrow \frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \Rightarrow \Delta y = y\left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}\right)}$$

مثال: در آزمایش اندازه‌گیری ضریب اصطکاک ایستایی سطوح مسطح که از رابطه $\mu_s = \tan\theta$ به دست می‌آید در اندازه‌گیری‌هایی که به عمل آمده مقادیر زیر به دست آمد:

$$\boldsymbol{\theta_1 = 28^\circ, \theta_2 = 24^\circ \quad \theta_3 = 29^\circ}$$

خطای ضریب اصطکاک را به دست آروید.

با استفاده از روش دیفرانسیل گیری داریم:

$$\boldsymbol{d\mu_s = (1 + tan^2\,\theta)d\theta \Rightarrow \Delta\mu_s = (1 + tan^2\,\theta)\Delta\theta}$$

$$\boldsymbol{\theta_m = \frac{\theta_1+\theta_2+\theta_3}{3} = \frac{28+24+29}{3} = 27^\circ}$$

$$\boldsymbol{\Delta\theta_{1=}|\theta_m - \theta_1| = 1^\circ}$$

$$\boldsymbol{\Delta\theta_{2=}|\theta_m - \theta_2| = 3^\circ}$$

$$\boldsymbol{\Delta\theta_{3=}|\theta_m - \theta_3| = 2^\circ}$$

خطای شخص $\Delta\theta_{۳} = ۳^\circ$ خطای دستگاه در این آزمایش ۱° است. خطای تصادفی $\frac{|۲۹-۲٤|}{۳} = ۱.٦^\circ$ و خطای محیط مشهود نیست. بنابراین

$$\boldsymbol{\Delta\overline{\theta} = 3^\circ + 1^\circ + 1.6^\circ = 5.6^\circ}$$

$$\boldsymbol{\mu_s = tan\,\theta_m = tan\,27^\circ = 0.51}$$

$$\boldsymbol{\Delta\mu_s(tan^2\,27^\circ) \times 0.1 = 0.13}$$

$$\boldsymbol{\frac{\Delta\mu_s}{\mu_s} = 0.25}$$

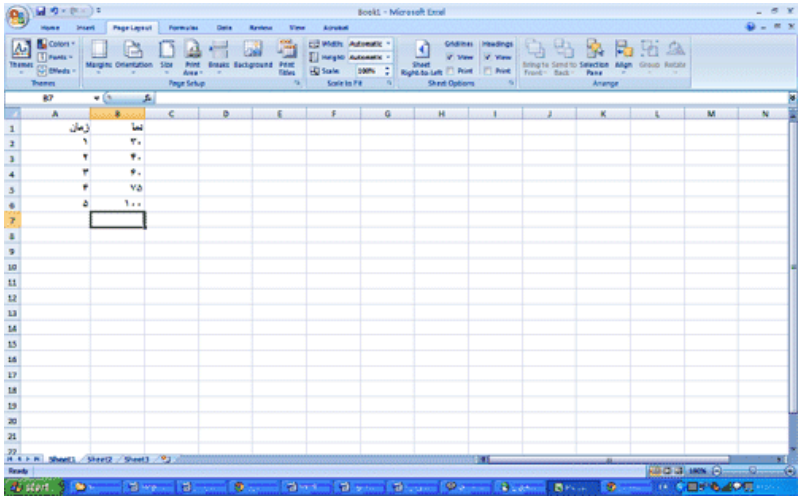
رسم نمودار با اکسل

رسم نمودار اکسل یکی از پرکاربردترین قابلیت‌های اکسل می‌باشد. کاربران برای نمایش داده‌های خود و ارائه‌ی آن‌ها به منظور بررسی سریع نتایج و تغییرات نیاز به رسم نمودار در اکسل دارند. در این قسمت به توضیح مختصری در مورد رسم نمودار می‌پردازیم.

رسم نمودار در اکسل انواع گوناگونی دارند، که بنا به نیاز خود و ماهیت داده‌هایشان بتوانند از آن‌ها استفاده نمایند. انواع این نمودارها مانند: نمودار خطی، نمودار ستونی، نمودار سطح و....

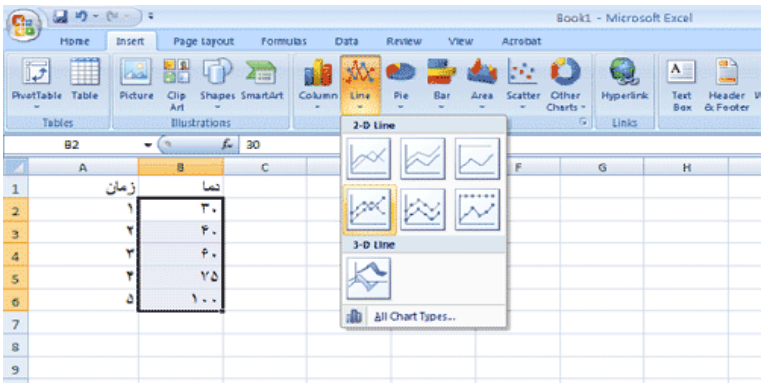
نمودار خطی در اکسل

رسم نمودار خطی (Line) در اکسل برای رسم تغییرات داده‌های پیوسته و نشان دادن نمودارهای رشد پارامترها استفاده می‌گردد. نمودار خطی از پرکاربردترین نمودارها در اکسل می‌باشد، می‌توان در این دسته از نمودارها داده‌ها را به صورت نقطه نقطه ترسیم نمود و یا نقاط را به صورت خطی یا غیر خطی به یکدیگر متصل کرد. برای رسم نمودار خطی باید دو ستون x و y داشته باشیم که در دو ستون در اکسل داده‌ها را بشکل زیر وارد می‌کنیم و سپس دو ستون را انتخاب می‌کنیم و با رفتن به قسمت Insert و انتخاب الگوی Linear نمودار مورد نظرتان را رسم می‌نمایید.

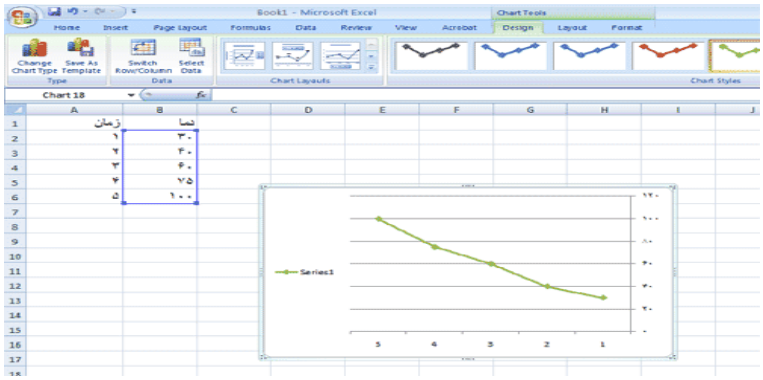


شکل۹- ستون داده‌ها در اکسل

هنگام انتخاب داده‌ها فقط ستون مربوط به متغیر وابسته را انتخاب کنید و نام ستون را انتخاب نکنید. برنامه به طور خودکار ستون مربوط به متغیر مستقل را روی محور افقی نمایش می‌دهد.



شکل ۱۰– انتخاب گزینه LiNE از قسمت iNSERT



شکل ۱۱– نمودار خطی

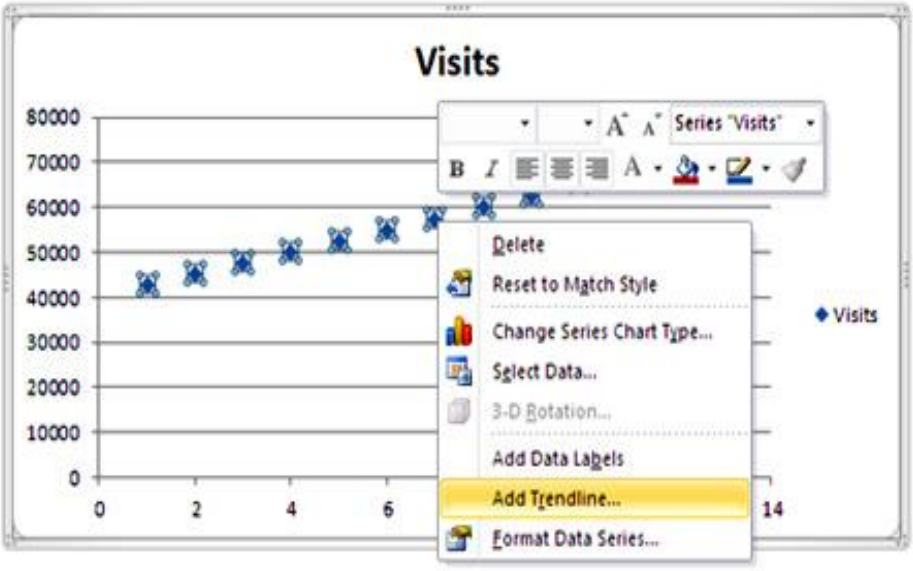
برای تغییر مشخصات نمودار می‌توانید روی آن کلیک کنید در بالای صفحه قسمت منو، سربرگ‌های Layout، Design، Format پدیدار می‌شوند. از آن‌ها برای ایجاد تغییرات گوناگون در نمودارتان استفاده کنید. برای مثال می‌توانید در قسمت

Layout --> Axes --> primery horizontal axes --> show left to right axes

جهت نمودار را چپ به راست کنید. یا در قسمت Axis Titles برای محورهای افقی و عمودی نمودار تیتر انتخاب کنید.

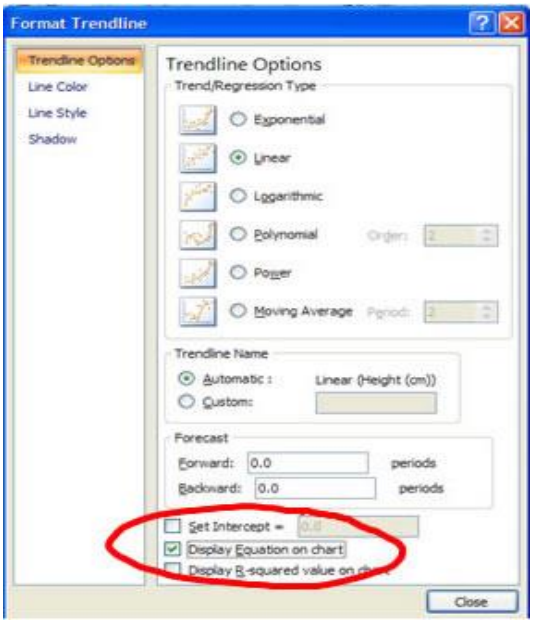
پیدا کردن معادله‌ی خط:

برای پیدا کردن معادله‌ی خط پس از رسم نمودار خطی در اکسل، بر روی نمودار کلیک راست نموده و گزینه‌ی Add Trendline را بزنید. مشابه با تصویر زیر:



شکل۱۲- گزینه‌ی **Add Trendline**

سپس یک صفحه باز می‌شود که در قسمت Options یک گزینه وجود دارد به نام Display equation on chart این گزینه را انتخاب نموده و Okرا بزنید. مشابه تصویر زیر:



شکل۱۳- گزینه‌ی **Display equation ON chart**

خط Trendline ایجاد می‌شود و شما می‌توانید معادله نمودارتان را ببینید. همان‌طور که می‌دانید معادلات خطی به صورت $y=mx+b$ است که در آن m شیب خط می‌باشد.

آزمایش شماره ۱

آشنایی با وسایل اندازه‌گیری

هدف: آشنایی با اصل درجه بندی ورنیه و طرز استفاده از کولیس، ریزسنج، گوی سنج

وسایل لازم: کولیس، ریزسنج، گوی سنج، ترازو

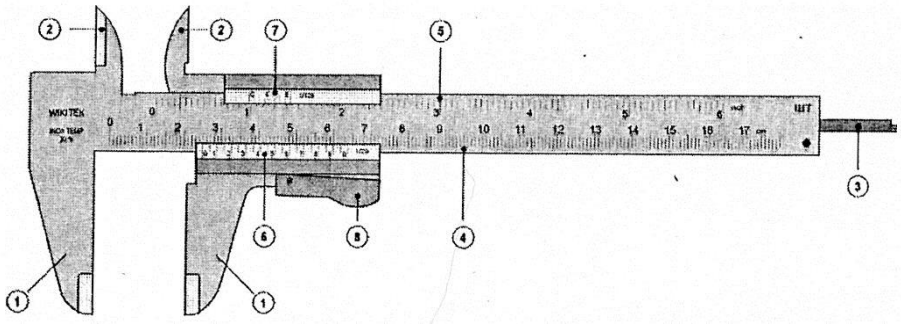
مبانی نظری

در حالت کلی اندازه‌گیری را می‌توان به دو روش مستقیم و غیر مستقیم انجام داد. در اندازه‌گیری مستقیم می‌توان مستقیماً به اندازه کمیت دست یافت و در اندازه‌گیری غیرمستقیم ابتدا کمیت‌هایی که مستقیما با وسایل اندازه‌گیری هستند را اندازه گرفته سپس با توجه به قوانین یا تعاریف فیزیکی و انجام محاسبات جبری می‌توان به اندازه کمیت مورد نظر دست یافت.

کولیس

یکی از ابزارهای دقیق در اندازه‌گیری کولیس است، کولیس ابزاری است که ما می‌توانیم اندازه تا ۱ میلی‌متر را با آن اندازه‌گیری کنیم.

کولیس تشکیل شده است از: فک ثابت و متحرک کولیس جهت اندازه‌گیری قطر خارجی (۱)، فک ثابت و متحرک کولیس جهت اندازه‌گیری قطر داخلی (۲)، شاخک عمق سنج (۳)، خط کش اصلی که روی آن تقسیم بندی انجام شده که می‌توانند به صورت میلی‌متری یا اینچ باشد (٤ و ٥) درجه‌بندی‌های فک متحرک کولیس که به آن ورنیه گفته می‌شود (٦ و ٧).



شکل ۱

درجه بندی ورنیه از نقطه نظر اندازه با درجه‌بندی مقیاس ثابت متفاوت است بدین ترتیب که n درجه ورنیه مساوی با $(n-1)$ درجه مقیاس ثابت است. برای مثال اگر طول یک درجه ورنیه با X و طول یک درجه خط کش ثابت را با Y نمایش دهیم خواهیم داشت:

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

n عددی صحیح است که دقت دستگاه را تعیین می‌کند. کوچک‌ترین مقداری که توسط درجه‌بندی ورنیه خوانده می شود کم‌ترین شمارش (دقت دستگاه) نام دارد و برابر است با تفاضل بین یک درجه خط کش ثابت و یک درجه ورنیه یعنی:

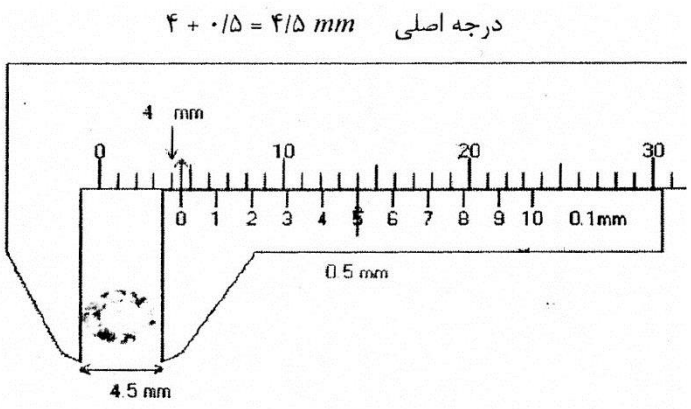
$Y - X = Y - \frac{n-1}{n}Y = \frac{1}{n}Y$ کمترین شمارش (دقت ورنیه)

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

اکنون با فرض این که صفر ورنیه روبروی صفر خط کش ثابت قرار داشته باشد اولین درجه ورنیه از اولین درجه خط کش ثابت به اندازه $\frac{1}{10}$ درجه عقب است. در این حالت دومین درجه ورنیه به اندازه $\frac{2}{10}$ از دومین درجه خط کش ثابت و... آخرین درجه ورنیه به اندازه $\frac{10}{10}$ یا یک درجه از درجه ۱۰ خط کش ثابت فاصله گرفته است. بنابراین آخرین یا دهمین درجه ورنیه روبروی نهمین درجه خط کش ثابت واقع شده است.

حال اگر ورنیه به طرف راست حرکت داده شود تا این که ششمین درجه آن با ششمین درجه خط کش ثابت به طور کامل منطبق شده باشد میزان جابه‌جایی برابر $\frac{1}{10} \times 6$ یا $\frac{6}{10}$ درجه اصلی خواهد بود.

هر گاه جابه‌جایی ورنیه بیش از چند درجه خط کش ثابت باشد باز نحوه خواندن با اندکی دقت به همان صورت خواهد بود. برای مثال شکل زیر را ببینید. برای اندازه‌گیری قطر سکه، صفر ورنیه به اندازه ٤ درجه خط کش اصلی و کسری از آن حرکت کرده است که با توجه به درجه منطبق شده ورنیه (درجه پنجم)روی خط کش اصلی میزان جابجایی برابر خواهد بود با:



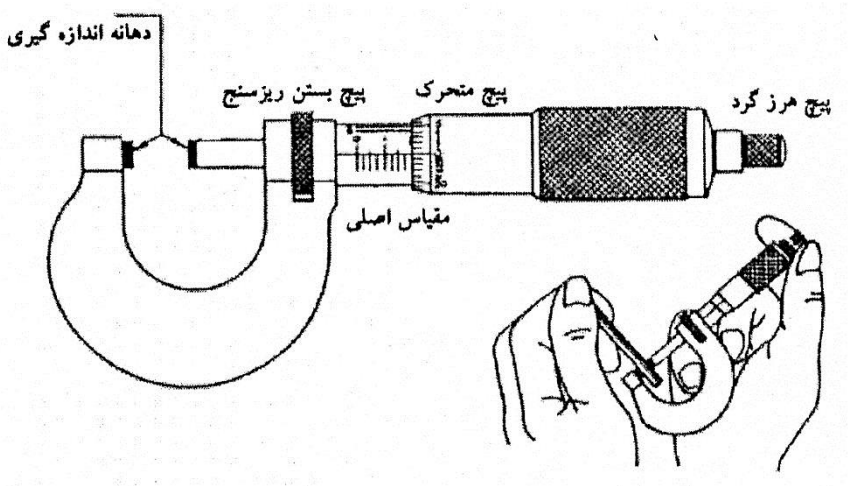
شکل ۲

در هنگام استفاده از ابزارهایی که دارای ورنیه است باید کمترین شمارش (دقت) آن را مشخص کرد بعد برای اندازه‌گیری جابه‌جایی باید ابتدا تعداد درجات خط کش ثابت را که قبل از صفر ورنیه قرار دارند قرائت کرد سپس درجه‌ای از ورنیه که روبه‌روی یکی از درجات خط کش ثابت قرار گرفته را معین کرد و در نهایت باید حاصلضرب

کم‌ترین شـمارش (دقت) درعدد خوانده شـده در روی ورنیه را به دسـت آورد و با عدد خوانده شـده روی خط کش ثابت جمع کرد.

ریزسنج

ضخامت ورقه‌های نازک و سیم‌های نازک را با ا سبابی به نام ریز سنج اندازه می‌گیرند این ا سباب از ترکیب یک ا ستوانه ثابت مدرج و یک ا ستوانه توخالی متحرک مدرج ساخته شده ا ست. این ا ستوانه به کمانی مت صل ا ست در انتهای دیگر کمان زایده‌ای وجود دارد که به آن سـندان می‌گویند. اسـتوانه متحرک در داخل کلاهکی قرار دارد و در داخل مهره حرکت می‌کند، کلاهک پیچ بر روی سـطح خارجی مهره جابه‌جا می‌شـود. گام ریزسـنج عبارت اسـت از جابه‌جایی ا ستوانه متحرک در طول ا ستوانه ثابت به ازای هر دور چرخش و به نحوه طراحی و دقت د ستگاه ب ستگی دارد. در صورتی که پای پیچ ۰/۵ باشد دور کلاهک استوانه متحرک به پنجاه قسمت و اگر پای پیچ یک میلی‌متر باشد دور کلاهک پیچ به ۱۰۰ ق سمت تق سیم می شود. در هر دو حالت ۱۰۰ ق سمت از ا ستوانه متحرک برابر ۱ میلی‌متر از استوانه ثابت (خط کش ثابت) می‌باشد. بنابراین دقت ریزسنج $\frac{۱}{۱۰۰}$ میلی‌متر می‌باشد.



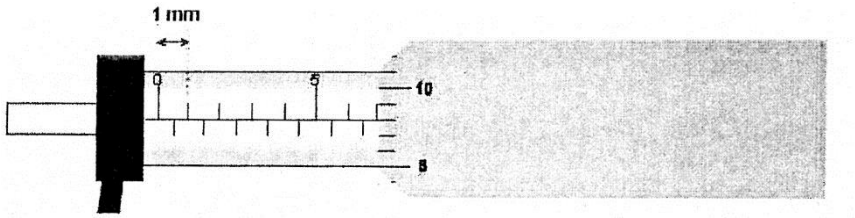
شکل ۳

روش کار ریزسنج

برای اندازه‌گیری جسم مورد نظر را از بین زبانه و سندان قرار می‌دهند و پیچ کلاهک آنقدر می‌چرخانند تا جسم با دهانه ریز سنج تماس پیدا کند. برای چرخاندن کلاهک پیچ، پیچ هرز گرد را می‌پیچانند پس از تماس با زبانه با ج سم، پیچ هرز گرد صدا می‌کند. با شنیدن صدا عمل پیچاندن را متوقف می‌کنند. در غیر این صورت از ح سا سیت و سیله کاسـته می‌شـود. درجات میلی‌متری را از روی خط کش ثابت و درجا صـدم میلی‌متر را از روی کلاهک پیچ متحرک می‌خوانند. (درجه‌ای از کلاهک پیچ خوانده می‌شـود که در امتداد خط افقی مهره قرار دارد و آن را در دقت ریزسـنج ضرب می‌کنند.) سپس هر دو را با هم جمع می‌کنند.

برای مثال برای خواندن عدد نشـان داده شـده ریزسـنج شـکل زیر اسـتوانه متحرک به اندازه ۷ دور کامل چرخیده ا ست. (همانطور که ملاحظه می‌کنید درجه‌بندی‌های پایین نیز هر کدام ۱ میلی‌متر می‌با شند و چون بین درجه‌بندی‌های

بالا می‌باشد لذا فاصله هر کدام از درجه‌بندی‌های بالا با درجه‌بندی‌های پایین ۰/۵ میلی‌متر می‌باشد) و فرض کنیم عددی که روی درجه بندی استوانه مدرج خوانده می‌شود ۸ است پس اندازه‌گیری مورد نظر به صورت $۷ + ۸\left(\frac{۱}{۱۰۰}\right) = ۷.۰۸mm$ خواهد بود در این‌جا نیز خطای مطلق برابر دقت وسیله در نظر گرفته شده است.



شکل ٤

روش انجام آزمایش

با قسمت‌های مختلف ریزسنج آشنا شوید دقت آن را تعیین کنید.

دهانه ریزسنج را بسته و اگر صفر استوانه متحرک بر صفر استوانه ثابت منطبق نبوده مبدا اندازه‌گیری را مشخص کنید.

قطر گلوله فلزی (D)، ضخامت سیم (d) و ضخامت یک برگ کاغذ (L) را سه بار اندازه‌گیری کنید و میانگین گیری کنید.

حجم گلوله فلری را همراه با خطای آن مقایسه کنید: $V \pm \Delta V =$

چگونه می‌توانید با دقت بیشتری ضخامت یک برگ کاغذ را اندازه‌گیری کنید؟

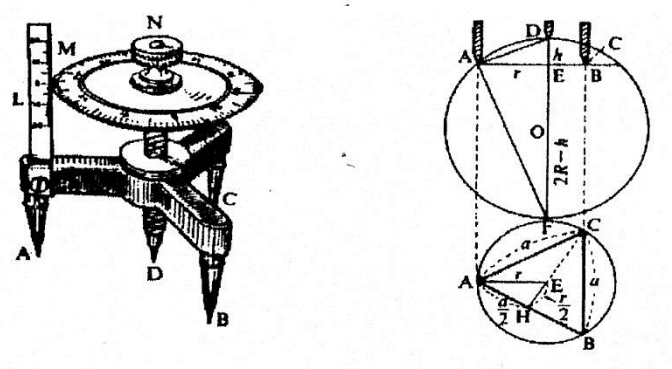
گوی‌سنج

گوی‌سنج وسیله برای اندازه‌گیری شعاع انحنای سطوح مقعر یا محدب است. این وسیله دارای سه پایه ثابت و یک پایه متحرک در وسط است. قسمت اندازه‌گیرنده آن، بر اساس مقایسه بین دو دستگاه متریک است. سیستم قرائت گوی‌سنج نشان داده شده در شکل به صورت زیر است:

خط کشی برحسب میلی‌متر، که مبدا آن در وسط است و دو تقسیم‌بندی به اندازه ۱۰ میلی‌متر در بالا و پایین این مبدا قرار دارد، این خط کش روی پایه دستگاه سوار است.

محور دیسک مانند، که عمود بر خط کش است و دارای ۱۰۰ قسمت مساوی است که هر قسمت نماینده ۰/۰۱ میلی‌متر است.

به منظور قرائت عدد مورد نظر، ابتدا از صفر خط کش تا جایی که دیسک بر خط کش مماس شده است، بر حسب میلی متر، قرائت کرده و عدد را یادداشت می‌کنیم. سپس عددی از دیسک را که مماس بر خط کش است، بر حسب صدم میلی‌متر قرائت کرده، و این عدد را با عدد قبلی جمع می‌کنیم.



شکل ۵

در عمل ابتدا سه پایه ثابت را بر روی سطح صافی مانند شیشه قرار داده و با پیچ تنظیم دستگاه، پایه متحرک را نیز بر سطح صاف مماس کرده و عددی را که گوی سنج نشان می‌دهد، به طریقی که گفته شد قرائت کرده و یادداشت می‌کنیم. سپس سه پایه ثابت را روی سطح مورد نظر، محدب یا مقعر، قرار داده و پایه متحرک را بر سطح مورد نظر مماس کرده و مجدداً عددی را که گوی‌سنج نشان می‌دهد، یادداشت می‌کنیم. تفاضل این دو عدد را با h نمایش می‌دهیم.

اکنون شعاع دایره را که از سه پایه ثابت تشکیل شده است، به یکی از دو روش زیر به دست می‌آوریم:

در حالتی که هر چهار پایه در یک سطح قرار دارند، فاصله هر یک از سه پایه ثابت تا پایه متحرک وسطی را اندازه گرفته، با یکدیگر جمع زده، و بر عدد ۳ تقسیم می‌کنیم.

$$a = \frac{a_1+a_2+a_3}{3}$$

فاصله دو پایه ثابت را با کولیس به دست آورده و شعاع را از رابطه زیر محاسبه می‌کنیم:

$$a = \frac{\text{فاصله دو پایه ثابت}}{\sqrt{3}}$$

در این حالت، شعاع انحنا (R) را می‌توان به کمک رابطه زیر بدست آورد:

$$(R-h)^2 + a^2 = R^2 \rightarrow R = \frac{a^2+h^2}{2h}$$

روش انجام آزمایش

۱. ابتدا با قسمت‌های مختلف گوی سنج آشنا شوید و دقت آن را تعیین کنید.

۲. گوی‌سنج را بر روی سطح تخت مرجع قرار دهید و مکان پایه متحرک را در حالتی که بر سطح مرجع مماس است اندازه بگیرید (h_1).

۳. گوی‌سنج را بروی سطح کروی قرار داده پایه متحرک را بر سطح کروی مماس کنید و مکان جدید آن را بخوانید (h_2).

٤. به وسیله کولیس مشخصه گوی‌سنج را اندازه‌گیری کنید (a).

٥. اندازه‌گیری‌ها را سه بار تکرار کرده و جدول (٢) را کامل کنید. (توجه کنید که در هر مرحله اندازه‌گیری a در گوی سنج چهارپایه بهتر است که از یکی از پایه‌های ثابت استفاده کنید.)

٦. تغییر ارتفاع پایه متحرک را همراه با خطای آن محاسبه کنید:

$$\boldsymbol{h = \left|\bar{h}_1 - \bar{h}_2\right| =}$$

$$\boldsymbol{\Delta h = \left|\Delta\bar{h}_1 - \Delta\bar{h}_2\right|}$$

٧. شعاع انحنا و خطای آن را از روابط زیر محاسبه کنید:

$$\boldsymbol{R = \frac{a^2+h^2}{2h}}$$

$$\boldsymbol{\Delta R = \left[\frac{2a\Delta a+2h\Delta h}{a^2+h^2} + \frac{\Delta h}{h}\right] = \ R \pm \Delta R}$$

٨. جواب به دست آمده را با مقدار تقریبی آن که با خط کش اندازه‌گیری می‌کنید، مقایسه کنید.

پرسش

١- فرمول محاسبه شعاع انحنا را ثابت کنید.

٢- فرمول‌های محاسبه خطا را ثابت کنید.

٣- با توجه به این‌که شعاع دایره محیطی مثلث متساوی‌الاضلاع به ضلع A برابر با $\frac{A}{\sqrt{3}}$ است (چرا؟) چگونه می‌توانید مقدار a را در گوی‌سنج چهار پایه اندازه‌گیری کنید؟

آزمایش شماره ۲

برآیند نیرو

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

وسایل مورد نیاز: میز نیرو، وزنه‌های مختلف، قرقره‌های شیاردار، حلقه نیرو و نخ

شرح دستگاه:

د ستگاه ت شکیل شده از یک صفحه دایره‌ای مندرج که به یک پایه و صل ا ست با ا ستفاده از پیچ‌های روی پایه، صفحه تنظیم می شود. یک حلقه در و سط میز قرار دارد که ٤ نخ با قلاب به آن و صل ا ست و از سطح میز تو سط قره‌قره‌های شیاردار آویزان هستند که به سرنخ‌ها قلاب برای گذاشتن وزنه وصل است. راستای نخ‌ها راستای نیروها را مشخص می‌کنند.

مبانی نظری:

هر گاه برایند نیروها و گشتاورهای وارد بر جسمی صفر با شد گوییم جسم در حال تعادل دینامیکی است. در این حالت سرعت انتقالی و سرعت زاویه‌ای م ضربی ثابت ه ستند. اگر سرعت انتقالی و زاویه‌ای اولیه صفر با شد تعادل استاتیکی را خواهیم داشت.

$$\sum \boldsymbol{f_{ext}} = \boldsymbol{m\vec{a}_{cm}} = \mathbf{0} \rightarrow \frac{\boldsymbol{dV_{cm}}}{\boldsymbol{dt}} = \mathbf{0} \rightarrow \boldsymbol{\vec{V}_{cm}} = \boldsymbol{const} = \mathbf{0} \qquad (۱)$$

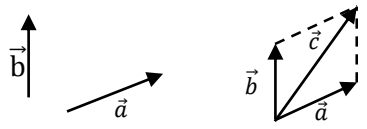
جمع بردارها:

الف) روش متوازی الاضلاع:

در این روش از یک نقطه دلخواه، همســنگ بردارهایی که می‌خواهیم با هم جمع کنیم، رســم می‌کنیم قطر متوازی الاضلاع که از این دو بردار تشکیل می‌گردد حاصل جمع این دو بردار است.

$$\vec{\boldsymbol{c}} = \vec{\boldsymbol{a}} + \vec{\boldsymbol{b}} \qquad (۲)$$

$$|\boldsymbol{c}|^2 = |\boldsymbol{a}|^2 + |\boldsymbol{b}|^2 + 2|\boldsymbol{a}||\boldsymbol{b}|\cos\boldsymbol{\alpha} \qquad (۳)$$

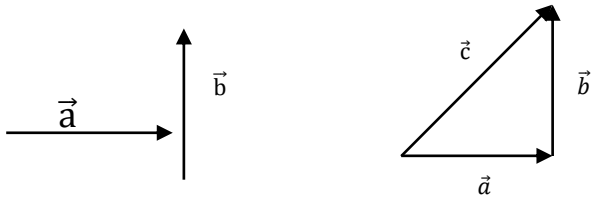


شکل ٦

ب) روش مثلث یا چندضلعی

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

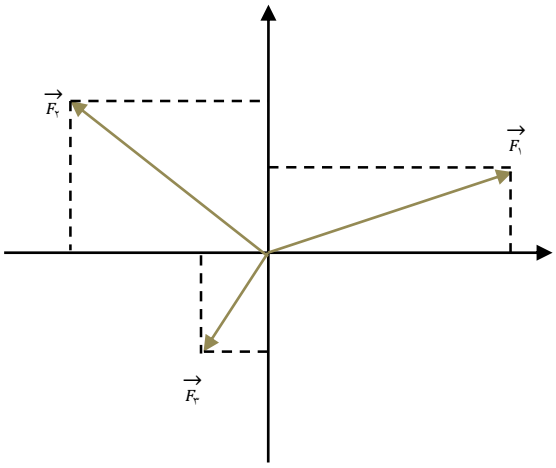
$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$$



شکل۷

ج) روش تجزیه:

ابتدا کلیه بردارها را در یک دستگاه مختصات رسم می کنیم و سپس تک تک آن‌ها را روی محورها تجزیه می‌کنیم بردار برآیند نیروها بدست می‌آوریم.



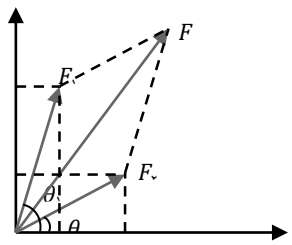
شکل ۸

$$\overrightarrow{F_1} = a_x\hat{i} + a_y\hat{j}, \overrightarrow{F_2} = b_x\hat{i} + b_y\hat{j}, \overrightarrow{F_3} = c_x\hat{i} + c_y\hat{j} \quad (۵)$$

$$\vec{F} = \vec{a} + \vec{b} + \vec{c} = (a_x + b_x + c_x)\hat{i} + (a_y + b_y + c_y)\hat{j} = F_x\hat{i} + F_y\hat{j} \quad (۶)$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (۷) \qquad \tan\theta = \frac{F_y}{F_x} \quad (۸)$$

$$|F|^2 = |F_1|^2 + |F_2|^2 + 2|F_1||F_2|\cos(\theta_1 - \theta_2) \quad (۹)$$



شکل ۹

روش انجام آزمایش:

روش عملی: ابتدا با استفاده از جدول زیر زاویه‌ها و جرم‌های تعیین شده را قرار دهید. یعنی، مثلا در حالت A_1 نخ اول را روی زاویه صفر بگذارید (یک زاویه صفر در صفحه در نظر بگیرید) و وزنه $۱۵۰gr$ آویزان کنید. نخ دوم را در حالت B_1 قرار دهید زاویه را با توجه به مبدأیی که در نظر می‌گیرید قرار دهید. و سپس حالت C_1 را در ست کنید. در آخر نخ چهارم که برایند نیروی شما است آنقدر زاویه و وزنه روی نخ چهارم را تغییر بدهید تا حلقه نیرو در وسط میز در ست در و سط قرار بگیرد و وقتی نیروی کوچکی به آن وارد کنیم دوباره در و سط قرار بگیرد در این حالت د ستگاه در تعادل است و بعد مراحل بعدی آزمایش را به همین روش انجام دهید.

بردار A		بردار B		بردار C		بردار عملی		بردار تئوری		Δm	$\frac{\Delta m}{\mathbf{m}_{\text{تئوری}}} \times 100$
m	**θ**	**M**	**θ**	**m**	**θ**	**m**	**θ**	**m**	**θ**		
$A_1 = ۱۵۰$	۰°	$B_1 = ۷۵$	۸۰°	$C_1 = ۱۰۰$	۲۰۰°						
$A_2 = ۱۲۰$	۲۰°	$B_2 = ۱۰۰$	۱۰۰°	$C_2 = ۱۷۰$	۲۵۰°						
$A_3 = ۱۸۰$	۵۰°	$B_3 = ۱۰۰$	۱۷۰°	$C_3 = ۲۵۰$	۲۴۰°						

روش تئوری:

با توجه به فرمول‌های زیر و جدول بالا F_x و F_y را بد ست آورید در فرمول قرار داده برآیند نیرو را بد ست آورید. روش تئوری و عملی را مقایسه کرده و نتیجه‌گیری بفرمائید.

$$F_x = F_1 \cos\theta_1 + F_2 \cos\theta_2 + F_3 \cos\theta_3$$

$$F_y = F_1 \sin\theta_1 + F_2 \sin\theta_2 + F_3 \sin\theta_3$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad \tan\theta = \frac{F_y}{F_x}$$

سؤالات:

۱. تعادل را تعریف کنید و انواع تعادل را شرح دهید؟
۲. زوج نیرویی به جسمی وارد می‌شود، در چه شرایطی تعادل برقرار است؟
۳. رابطه (۹) را اثبات کنید؟
٤. عوامل خطا در آزمایش را ذکر کنید؟

آزمایش شماره ۳

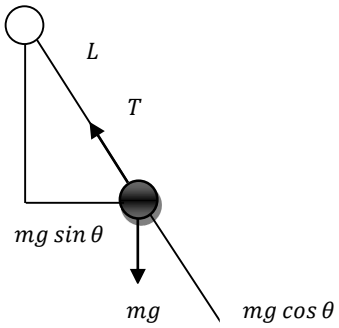
آونگ ساده

هدف: تحقیق قوانین حرکت نوسانی ساده با آونگ و محاسبه شتاب جاذبه زمین

وسایل لازم: دستگاه آونگ ساده،گلوله با جرم مختلف، نقاله، خط کش، زمان سنج (کرنومتر)

مبانی نظری:

آونگ ساده دستگاه ایده‌الی است، شامل جرم نقطه‌ای که توسط یک نخ سبک و غیر قابل کشش آویزان شده است. هرگاه آونگ را از مو ضع تعادلش به یک طرف بک شیم و سپس رها کنیم، آونگ در اثر نیروی گرانش در یک صفحه قائم شروع به نوسان می‌کند.



شکل ۱۰

اگر $\theta < 6 \Rightarrow \sin\theta \cong \frac{x}{l}$

$$F = mg\sin\theta = mg\theta = mg\frac{x}{l}$$

$$F = -mg\frac{x}{l} = \frac{-mg}{l}.x$$

طبق قانون هوک $F = -kx$

$$F = ma \Rightarrow -mg\frac{x}{l} = ma \quad , \quad a = \frac{-g}{L}x$$

F همواره در خلاف جهت بردار مکان است.

از مقایسه رابطه بالا با رابطه روبه رو $a = -\omega^2 x$

داریم $\omega^2 = \frac{g}{L}$

$$\Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{g}{L}} \text{ و } T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

روش انجام آزمایش:

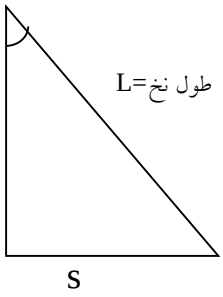
الف) نخ به آهنربایی که در پشت میله قرار دارد متصل است بوسیله بالا پایین کردن آهنربا و با استفاده از خط کش طول نخ را اندازه بگیرید و آزمایش را برای طول‌های مختلف انجام دهید.

برای بدست آوردن دوره تناوب T به روش زیر عمل کنید:

گلوله را به اندازه $\theta = ٦^{\circ}$ منحرف کنید. می‌توانید از نقاله بالای دستگاه استفاده کنید. ولی به علت این که این کار خطای زیادی به همراه دارد از روش دیگری استفاده می‌کنیم. نوسان آونگ بصورت کمانی از دایره است و چون زاویه ما کوچک است از رابطه روبرو می‌توانیم استفاده کنیم.

$$s \cong l \sin\theta$$

$$\sin\theta \cong \theta$$



شکل ۱۲

وقتی s را بدست آورید. بوسیله خط کشی که در پایین دستگاه وصل شده به اندازه s جلو بروید مثلا برای طول ۱۳۰:

$$\sin\theta = \frac{s}{l} \rightarrow 0.1 = \frac{s}{130} \rightarrow s = 13\ cm$$

آن را رها کنید. در لحظه رها کردن کرنومتر را بزنید و تعداد۲۰ نوسان را بشمارید. هر رفت و برگشت یک نوسان به حساب می‌آید. زمان را یادداشت کنید و در فرمول روبرو گذاشته T را بدست آورید.

$$T = \frac{t}{N}$$

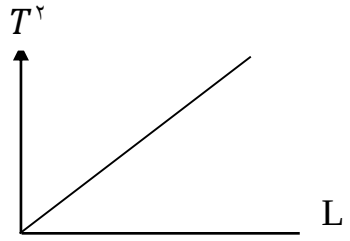
وقتی T را بدست آوردید در فرمول زیر گذاشته و g را بدست آورید.

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

برای طول‌های: $l = ١٣٠, ١٢٠, ١١٠, ١٠٠$ آزمایش را تکرار کنید.

ب) گلوله را عوض کنید و همین مراحل را تکرار کنید.

در هر دو مرحله آزمایش نمودار بکشید و خطاهای مطلق و نسبی را نیز محاسبه بفرمایید.



شکل ۱۳

$$\tan\theta = \frac{\Delta T^2}{\Delta l}$$

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

$$\Longrightarrow g = \frac{4\pi^2}{\tan\theta}$$

جدول گلوله کوچک

طول آونگ	t	$T = \frac{t}{N}$	$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$	$\Delta g = \lvert 9.81 - g_i \rvert$	$\frac{\max \Delta g}{9.81} \times 100$

جدول گلوله بزرگ

طول آونگ	t	$T = \frac{t}{N}$	$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$	$\Delta g = \lvert 9.81 - g_i \rvert$	$\frac{\max \Delta g}{9.81} \times 100$

پرسش

۱. آیا زمان نوسان یک آونگ در ارتفاعات مختلف از سطح زمین تغییر می‌کند، چرا؟

۲. اگر آونگ را از سطح زمین به کره ماه ببریم، دوره‌های تناوب آن چه تغییری می‌کند؟

۳. برای اندازه‌گیری دقیق زمان تناوب، مبنای اندازه‌گیری زمان باید در چه نقطه‌ای باشد؟

٤. عوامل خطا در آزمایش را ذکر کنید؟

آزمایش شماره ٤

نیروی اصطکاک

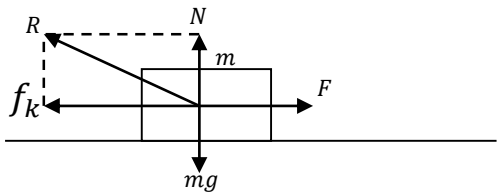
هدف: اندازه‌گیری ضریب اصطکاک ایستایی و جنبشی.

وسایل لازم: میز اصطکاک، مکعب‌های مستطیلی، کفه، جعبه وزنه، ترازو، نخ

مبانی نظری:

هرگاه جسمی به جرم m را بر روی یک سطح افقی قرار دهیم از طرف سطح نیروی عمودی $N = mg$ بر جسم وارد می‌شود. اگر بخواهیم جسم را روی سطح به حرکت درآوریم از طرف یک نیروی موازی سطح و در خلاف جهت تمایل حرکت نیز به جسم وارد می‌شود که به آن نیروی اصطکاک لغزشی گوییم.

نیروی اصطکاک لغزشی با نیروی عمودی N متناسب است و مستقل از مساحت تماس و سرعت نسبی است.



شکل ١٤

اگر نیروی افقی به جسم وارد کنیم و جسم حرکت نکند، نیرویی در خلاف جهت به جسم وارد می‌شود که به آن نیروی اصطکاک ایستایی می‌گویند.

ضریب اصطکاک جنبشی $\boldsymbol{\mu_k = \frac{F_k}{F_n}}$

ضریب اصطکاک ایستایی $\boldsymbol{\mu_s = \frac{F_s}{F_n}}$

همواره $\mu_k < \mu_s$ است.

شرح آزمایش:

الف) اندازه‌گیری ضریب اصطکاک جنبشی روی سطح افق:

ابتدا میز را با استفاده از تراز آبی که در سمت راست میز اصطکاک نصب شده تراز می‌کنیم. (حباب داخل تراز باید درست در وسط دو خط سیاه قرار بگیرد.). کفه را بوسیله نخ به مکعب وصل کرده. در داخل کفه وزنه می‌گذاریم (از

وزنه‌های کم استفاده کنید) با دکمه قرمز ویبره به دستگاه وارد کنید. به تدریج آنقدر وزنه بگذارید تا با ویبره‌ای که به دستگاه می‌دهید مکعب بصورت یکنواخت شروع به حرکت بکند. مقدار وزنه‌های در کفه را یادداشت بکنید.

در مرحله بعد یک وزنه ۵۰ gr روی مکعب بگذارید دوباره وزنه در کفه بگذارید و ویبره بزنید تا مکعب به طور یکنواخت حرکت کند. و در مرحله آخر نیز وزنه ۱۰۰ gr بگذارید و همین عملیات را تکرار کنید.

اعدادتان را در جدول زیر یادداشت کنید و محاسبات را انجام بدهید.

f_{k} =وزن کفه + وزنه‌ها	f_n =وزن مکعب + وزنه‌ها	μ_{k}	$\Delta\mu_k = \lvert\bar{\mu}_{\mathrm{k}} - \mu_{ki}\rvert$	$\frac{\max\Delta\mu_k}{\bar{\mu}_{\mathrm{k}}} \times 100$

$$\mu_k = \frac{F_k}{F_N}$$

وزن کفه = ۲٤ gr

وزن مکعب مستطیل خالی = ۹۷ gr

ماکسیمم مقدار اندازه‌گیری = خطای مطلق

خطای نسبی = $\frac{\text{خطای مطلق}}{\text{مقدار واقعی}} \times ۱۰۰$

نمودار f_k بر حسب f_sرا رسم کنید.

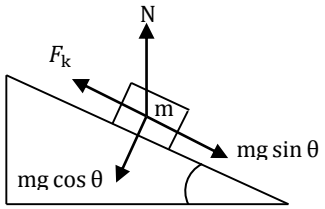
$$\tan\theta = \frac{\Delta f_k}{\Delta f_N} = \mu_k$$

ب) اندازه‌گیری ضریب اصطکاک ایستایی و جنبشی از طریق سطح شیبدار:

جسمی به جرم m را روی سطح شیبدار متغییری قرار می‌دهیم. اگر زاویه سطح را افزایش دهیم تا جسم آستانه حرکت به حرکت برسد داریم:

$$mg\ \sin\theta = f_s = \mu_s N = \mu_s mg\cos\theta_s \rightarrow \mu_s = \tan\theta_s$$

با استدلالی مشابه اگر جسم با حرکت یکنواخت روی سطح بلغزد ضریب اصطکاک جنبشی از رابطهٔ $\mu_{\mathrm{k}} = \tan\theta_{\mathrm{k}}$ به دست می‌آید. که در آن θ_{k} زاویه لغزش یکنواخت نامیده می‌شود.



شکل ۱۵

مکعب مستطیل را روی میز اصطکاک گذاشته میز را بوسیله گیره راست کم کم بالا می‌بریم تا مکعب روی میز بطور یکنواخت شروع به حرکت کند. زاویه را از روی نقاله‌ای که در سمت چپ دستگاه است یادداشت کنید.

وزنه ۵۰ gr روی مکعب بگذاریم مراحل بالا را تکرار کنید و دوباره وزنه ۱۰۰ gr بگذارید و همین مراحل را تکرار کرده و زاویه را یادداشت کنید. زوایای بدست آمده را بطور جداگانه در فرمول زیر گذاشته و ضریب اصطکاک ایستایی را بدست آورید:

$$\mu_s = tan\,\theta_s$$

جدول زیر را کامل کنید.

جرم مکعب	θ_s	μ_s	$\Delta\mu_s = \lvert\bar{\mu}_s - \mu_i\rvert$	$\frac{\max \Delta\mu_s}{\bar{\mu}_s} \times 100$

خطای مطلق و نسبی را بدست آورید؟

تمام مراحل بالا را برای بدست آوردن μ_k تکرار کنید با این تفاوت که در هر مرحله به دستگاه ویبره وارد کنید. و بعد زاویه را بدست آورید.

جدول را زیر را کامل کنید.

جرم مکعب	θ_k	μ_k	$\Delta\mu_k = \lvert\bar{\mu}_k - \mu_i\rvert$	$\frac{\max \Delta\mu_k}{\bar{\mu}_k} \times 100$

و خطاهای مطلق و نسبی را بدست آورید؟

ج) اندازه‌گیری ضریب اصطکاک جنبشی بر روی سطح شیبدار:

سطح شیبدار را روی زاویه دلخواه مثلاً ۳۰ درجه قرار می‌دهیم مکعب را روی سطح قرار داده و کفه را بوسیله نخ به مکعب وصل کنید روی کفه وزنه بگذارید و ویبره بزنید تا مکعب روی سطح بطور یکنواخت شروع به حرکت بکند. مقدار وزنه‌ها را یادداشت کنید. آزمایش را برای مکعب + وزنه ۵۰ gr و مکعب + وزنه ۱۰۰ gr نیز تکرار کنید.

ارقام بدست آمده را در فرمول روبرو گذاشته را بدست آورید: $\mu_k = \frac{M - m\sin\theta}{m\cos\theta}$

در رابطه فوق M جرم کفه و وزنه‌های آن و m جرم مکعب و وزنه‌هایش است.

جدول زیر را کامل کنید؟

$\frac{\max \Delta\mu_k}{\bar{\mu}_k} \times 100$	$\Delta\mu_k = \lvert\bar{\mu}_k - \mu_{ki}\rvert$	μ_k	وزن مکعب + وزنه‌ها= f_n	وزن کفه+ وزنه‌ها= f_k

خطای مطلق و خطای نسبی را بدست آورید؟

سوالات:

۱. اصطکاک قرقره در آزمایش چه تاثیری می‌دارد؟
۲. چرا ضریب اصطکاک جنبشی کم‌تراز ضریب اصطکاک ایستایی است؟
۳. چرا برای بدست آوردن ضریب اصطکاک جنبشی در حین کار ضربه‌های ملایمی به سطح افقی باید زد؟
٤. فرمول روبرورا اثبات کنید؟ $\mu_k = \frac{M - m\sin\theta}{m\cos\theta}$
۵. دما چگونه بر روی اصطکاک بین دو قطعه یخ تاثیر می‌گذارد؟
٦. عوامل مؤثر برخطا در آزمایش را ذکر کنید؟

آزمایش شماره ۵

سقوط آزاد

هدف: بررسی حرکت سقوط آزاد و تعیین شتاب گرانشی زمین

وسایل مورد نیاز: دستگاه سقوط آزاد، گلوله فولادی، تایمر دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ ثانیه.

مبانی نظری:

اگر شیئی را به سمت بالا و پایین بیندازیم و به گونه‌ای بتوانیم تأثیر هوا بر روی آن را از میان ببریم، درمی‌یابیم که شیء با آهنگ ثابت و معین به سمت پایین شتاب پیدا می‌کند. این آهنگ ثابت را شتاب سقوط آزاد می‌نامند و بزرگی آن را با g نشان می‌دهند. این شتاب به مشخصات شیء مانند جرم، چگالی و یا شکل آن بستگی ندارد و برای همه اشیاء یکسان است.

مقدار g اندکی بر حسب عرض جغرافیایی و نیز بر حسب ارتفاع از سطح زمین تغییر می‌کند که g در رقم برابر $9.81 m/s^2$ می‌باشد.

فرمول سقوط آزاد: $y = \frac{1}{2}gt^2 + v_0 t \rightarrow V_0 = 0 \rightarrow g = \frac{2y}{t^2}$

روش انجام آزمایش:

ابتدا آدابتور را به برق وصل کرده و تایمر دیجیتالی را روشن کنید گلوله فلزی را به گودی بالای دستگاه وصل کنید که گلوله تو سط الکترومگنت در ق سمت بالایی د ستگاه نگه دا شته می شود. طول مورد نظر را م شخص کنید و دکمه RESET را ف شار دهید و زمان را صفر کنید. بعد دکمه Start را ف شار دهید گلوله از بالا رها شده و تایمر به کار افتاده از جلو چ شمی عبور کرده و به محض عبور از ح سگر پایینی تایمر متوقف می شود زمانی که تو سط تایمر خوانده می‌شود همان زمان سقوط گلوله است.

برای ارتفاع‌های $y = ۱۳۰, ۱۲۰, ۱۱۰, ۱۰۰ cm$ آزمایش را تکرار کنید. برای بالا بردن دقت اندازه‌گیری زمان به ازای هر ارتفاع، آزمایش را سه مرتبه تکرار کنید، میانگین بدست آورید.

با استفاده از فرمول روبرو g را بدست آورید.

y ارتفاع و t زمان.

$$y = \frac{1}{2}gt^2 + v_0 t \rightarrow V_0 = 0 \rightarrow g = \frac{2y}{t^2}$$

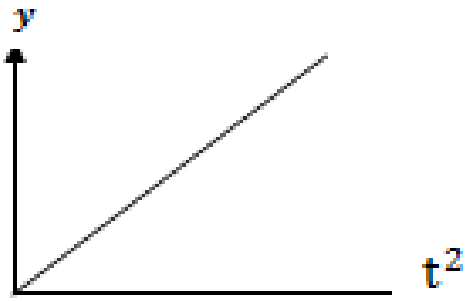
جدول زیر را کامل کنید و واحدها را نیز بگذارید:

y	t_1	t_2	t_3	$\bar{t}$	$\bar{t}^2$	g	$\Delta g = \lvert 9.81 - g_i \rvert$	$\frac{\max \Delta g}{9.81} \times 100$
130								
120								
110								
100								

نمودار yبر حسب t^2 رسم کنید.

$$tan\,\theta = \frac{\Delta y}{\Delta t^2}$$

$$g = 2tan\,\theta$$



شکل ۱۶

خطای مطلق و خطای نسبی را محاسبه کنید؟

$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$ واقعی

سوالات:

۱. اگر آزمایش را برای گلوله‌های متفاوتی انجام دهیم آیا g تغییر می‌کند. چرا؟

۲. شتاب گرانشی به چه عواملی بستگی دارد؟

۳. مقدار g در نتیجه عرض جغرافیایی چگونه تغییر می‌کند؟

٤. با توجه به رابطه $F = \frac{GMm}{(R+r)^2}$ که در ان M جرم زمین، m جرم گلوله، r فاصله قم از سطح دریا می‌باشد مقدار g در شهر قم را محاسبه کنید.

۵. عوامل خطا در آزمایش را ذکر کنید؟

آزمایش شماره ٦

ماشین آتوود

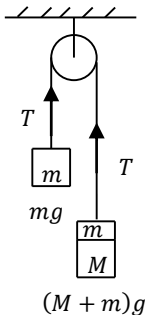
هدف: تحقیق اصول دینامیک در حرکت یک بعدی به کمک ماشین آتوود

وسایل لازم: دستگاه ماشین آتوود، وزنه‌های مختلف، زمان سنج دیجیتال با دقت ۰/۰۱ یا ۰/۰۰۱ ثانیه

مبانی نظری:

ماشین آتوود شامل دو وزنه با جرم‌های یکسان M که توسط ریسمان سبک که از روی یک قرقره می‌گذرد بهم وصل شده‌اند و دستگاه در حال تعادل قرار دارد. اگر سرباری به جرم m را روی یکی از وزنه‌ها قرار دهیم دستگاه شتابی متناسب با جرم سربار پیدا خواهد کرد.

$$\text{شتاب در ماشین آتوود} = \frac{\text{اختلاف جرم‌ها}}{\text{مجموع جرم‌ها}} g$$

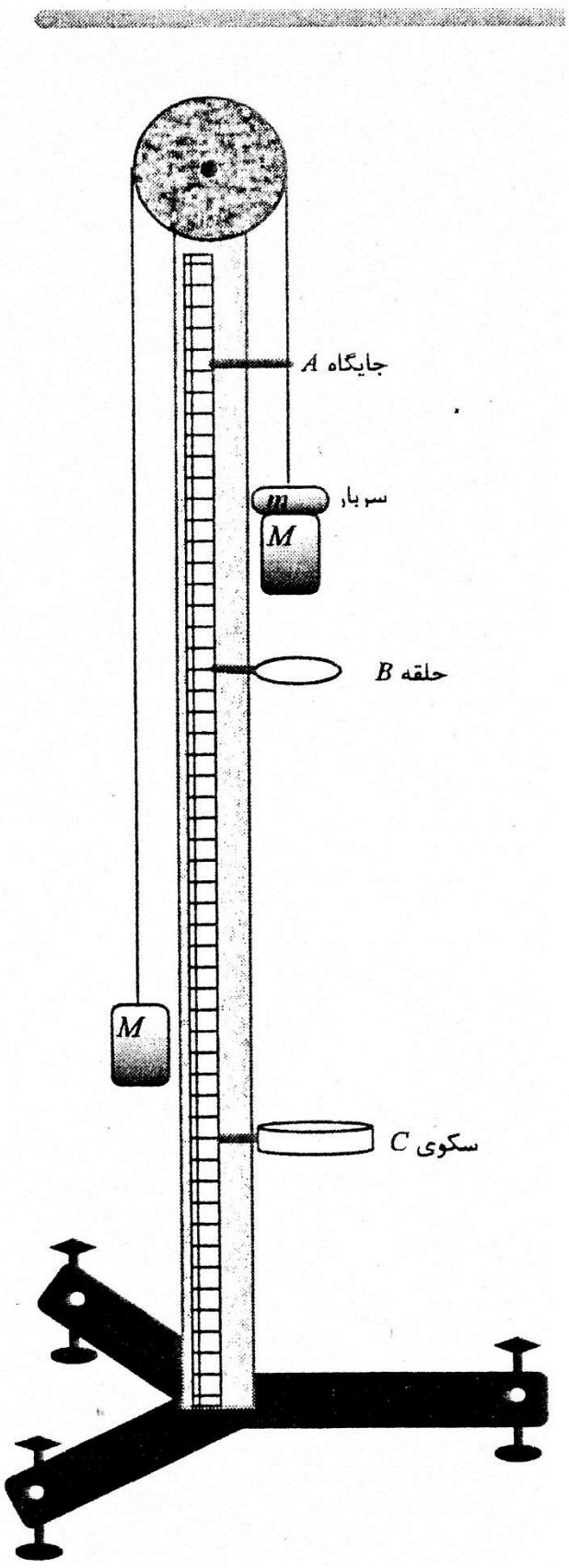


شکل ۱۷

شرح وسیله:

در عمل دستگاه ماشین آتوود شامل دو جرم M است که توسط ریسمانی از بالای شیار قرقره ثابتی گذشته است، به هم متصل شده‌اند. دستگاه روی سه پایه‌ای که به وسیله پیچ‌هایی قابل تنظیم است قرار گرفته است. قبل از انجام آزمایش به وسیله این پیچ‌ها دستگاه را تنظیم کنید به طوری که راستای نخ راستای شاقولی باشد.

همانطور که در شکل (۱۸) می‌بینید روی بدنه دستگاه جایگاه A، حلقه متغیر B و سکوی متغیر C تعبیه شده است. جایگاه A گیره‌ای است که وزنه را نگه می‌دارد. حلقه B برای نگه داشتن سربار و سکوی C نقطه پایان سقوط است که هر دو را می‌توان با پیچ‌های پشت آن در محل دلخواه محکم کرد.



شکل ۱۸- دستگاه ماشین آتوود

روش انجام آزمایش:

الف) حرکت یکنواخت با سرعت ثابت:

ابتدا آداپتور را وصل کرده و دستگاه را روشن می‌کنیم و زمان را بوسیله RESET صفر کرده بعد وزنه‌ای که سربار دارد را به جایگاه A می‌بریم زمان را صفر می‌کنیم. سکوی C را روی طول‌های cm ۱۰۰ , ۹۰ , ۸۰ قرار می‌ذهیم. گیره را رها کرده تا وزنه از حلقه B عبور کند در این لحظه سربار به حلقه گیر کرده و وزنه M عبور می‌کند و به سکوی C برخورد می‌کند. زمان را از روی زمان‌سنج یادداشت فرمایید. طول x از حلقه B تا سکوی C است. در حرکت یکنواخت وقتی سربار گیر می‌کند تازه حرکت یکنواخت می‌شود بنابراین حلقه B مبدأ شما و نقطه صفر است. زمان بدست آمده و طول را در فرمول زیر گذاشته سرعت را بدست آورید:

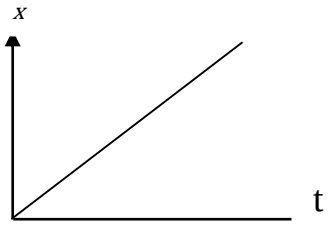
$$\boldsymbol{V = \frac{\Delta x}{t}}$$

جدول را کامل کنید:

x	t_1	t_2	t_3	$\bar{t}$	$V = \frac{x}{\bar{t}}$	$\Delta V = \lvert \bar{V} - V_i \rvert$	$\frac{\max \Delta V}{\bar{V}} \times 100$
۸۰							
۹۰							
۱۰۰							

خطای مطلق و خطای نسبی بدست آورید؟

نمودار x بر حسب t را رسم کرده وشیب نمودار را بدست آورید؟



$$\boldsymbol{tan\,\theta = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \bar{V}}$$

ب) بررسی حرکت مستقیم الخط با شتاب ثابت:

در این مرحله B حلقه را بالا داده سیم از آن جدا کرده به قسمت پشت، بالای دستگاه وصل کنید و دوباره همان طول‌ها را تنظیم کنید در این مرحله صفر (مبدا) شما از همان بالای دستگاه حساب می‌شود. وزنه‌ها را رها کنید (وزنه همراه سربار است) وقتی به سکوی C برخورد کرد زمان را یادداشت کنید.

از فرمول روبرو برای بدست آوردن شتاب استفاده کنید:

$$a = \frac{2y}{t^2}$$

از طریق فرمول (٤) شتاب تئوری را بدست آورید؟

$$\text{جرم وزنه‌ها} = M = 75$$

$$\text{جرم سربار} = m = 20$$

$$\text{قرقره} = m' = 5$$

$$g = 9.81\, m/s^2$$

$$a = \frac{mg}{2M+m+\frac{1}{2}m'}$$

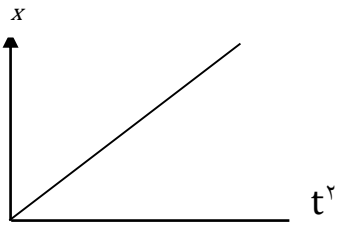
جدول را کامل کنید:

X	t_1	t_2	t_3	$\bar{t}$	$a = \frac{2x}{\bar{t}^2}$	$a = \frac{mg}{2M + m + \frac{1}{2}m'}$	$\Delta a = \lvert a - a_i \rvert$	$\frac{\max \Delta a}{a} \times 100$
٨٠								
٩٠								
١٠٠								

نمودار x بر حسب t^2 را رسم کنید و شیب خط را بدست آورید.

$$\tan\theta = \frac{\Delta x}{\Delta t^2}$$

$$a = 2\tan\theta$$



خطای نسبی و مطلق را بدست آورید.

سوالات:

١. رابطه $a = \frac{mg}{2M+m+\frac{1}{2}m'}$ را اثبات کنید؟

٢. کشش نخ در ماشین آتوود را بدست آورید؟

٣. عوامل خطا را در هر قسمت آزمایش بنویسید؟

آزمایش شماره ۷

چگالی اجسام و قانون ارشمیدس

هدف: درک مفهوم جرم حجمی یا چگالی و اندازه‌گیری چگالی جامدات و مایعات

وسایل مورد نیاز: ترازو، استوانه مندرج، بشر، وزنه‌های مختلف، مایع مورد نظر

مبانی نظری:

جرم حجمی یک جسم (ρ) عبارت است از جرم واحد حجم آن جسم که با واحدهای $\frac{kg}{m^3}$ و $\frac{gr}{Cm^3g}$ بیان می‌شود. همان طور که می‌دانیم m و v به چگالی بستگی دارد ولی چگالی به جرم حجمی وابسته نیست و به جسم مورد نظر بستگی دارد برای اندازه‌گیری جرم حجمی نمونه‌ای را که انتخاب می‌کنیم باید جرم و جسم آن را اندازه گرفته و با استفاده از رابطه‌ی $\rho = \frac{m}{v}$ چگالی را بدست آوریم.

وزن مخصوص یک جسم نیز به صورت واحد حجم آن تعریف می شود که برابر حاصلضرب جرم مخصوص درشتاب ثقل است وزن واحد در دستگاه‌های مختلف $\frac{dyne}{Cm^3} = \frac{n}{m^3}$ می‌باشد.

معمولا چگالی مایعات را نسبت به آب و چگالی گازها را نسبت به هوا می‌سنجیم.

شرح آزمایش:

الف) بدست آوردن چگالی جامدات:

برای انجام این آزمایش از استوانه مدرج استفاده می‌کنیم دقت این وسیله $1Cm^3$ می‌باشد، یعنی هر خطی که روی آن وجود دارد $1Cm^3$ می‌باشد (داخل استوانه مدرج مثلا تا $50Cm^3$ آب می‌ریزیم (V_1) (دلخواه) سپس وزنه‌های مورد نظر را که بوسیله نخ آویزان است را داخل استوانه مدرج می‌اندازیم حجم آب داخل استوانه تغییر می‌کند حجم ثانویه را خوانده (V_2) اختلاف حجم $V = V_2 - V_1$ حجم جسم مورد نظر را به ما می‌دهد

آزمایش را برای وزنه های 50gr و 100gr تکرار می‌کنیم. جنس وزنه مورد نظر برنج است و چگالی آن 8.5 gr/Cm^3 می باشد.

$\boldsymbol{m}$	$\boldsymbol{V}$	$\boldsymbol{P = \frac{m}{V}}$	$\boldsymbol{\Delta P = \lvert 8.5 - P_i \rvert}$	$\boldsymbol{\frac{\max \Delta P}{8.5} \times 100}$

ب) چگالی مایعات:

چگالی مایعات را نسبت به آب می‌سنجیم چون چگالی آب $1\ gr/Cm^3$ است در نتیجه مقدار چگالی بدست آمده چگالی مایع مورد نظر می‌باشد.

ابتدا بشـــر خالی را با ترازوی دیجیتالی وزن کرده (m_1) ســـپس تا یک حجم معین مثلاً $100\ mL$ داخل آن آب ریخته و دقیقاً سطح مقعر آب باید روی عدد ۱۰۰ باشد سپس آن را وزن کرده (m_2) آب را از ظرف خالی کنید ظرف را کاملاً خشک کنید و داخل همان ظرف به اندازه $100\ mL$ الکل بریزید و جرم آن را بدست آورید. (m_3)

چگالی الکل = ۰.۸

$$\boldsymbol{d = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1}}$$

$\boldsymbol{m_1}$	$\boldsymbol{m_2}$	$\boldsymbol{m_3}$	$\boldsymbol{d = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1}}$	$\boldsymbol{\Delta d = \lvert 0.8 - di \rvert}$	$\boldsymbol{\frac{\Delta d}{0.8} \times 100}$

قانون ارشمیدس

هدف آزمایش: تحقیق تجربی قانون ارشمیدس و تعیین چگالی جامدات و مایعات با توجه به نیروی وارد به آن از طرف شاره

وسایل مورد نیاز: ترازو، نیرو سنج، جک مکانیکی، پایه و گیره، بشر بزرگ، آب مقطر، الکل

مبانی نظری:

هرگاه تمام یا قسمتی از یک جسم در سیالی غوطه‌ور شود، به وسیله‌ی نیرویی برابر با وزن سیال جا به جا شده به جسم وارد می شود و در نتیجه جسم سبک‌تر می‌گردد و در حالت کلی سه وضعیت برای جسمی که در سیالی قرار دارد به وجود می‌آید:

الف) اگر وزن جسم با نیروی ارشمیدس برابر باشد، جسم در سیال غوطه‌ور می‌ماند.

ب) اگر وزن جسم کم‌تر از نیروی ارشمیدس باشد. جسم بر روی سیال شناور می‌ماند.

ج) اگر وزن جسم بیش‌تر از نیروی ارشمیدس باشد. جسم به ته ظرفی که سیال در آن قرار دارد برخورد می‌کند

وزن واقعی: وزن جسم در خلأ را که معمولاً با وزن جسم در هوا برابر است، وزن واقعی (W) می‌نامند.

وزن ظاهری: وزن جسم در سیال را وزن ظاهری (W') می‌نامند.

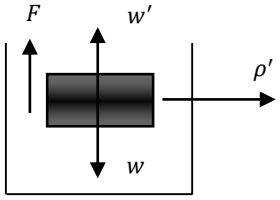
نیروی ارشمیدس: وزن سیال هم حجم جسم که معادل با مقدار سبک شدن وزن جسم است را نیروی ارشمیدس می‌نامند (F) که این نیرو به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\vec{F} = \rho' V g \qquad (۱)$$

که در آن ρ' جرم حجمی سیال و حجم سیال جابه‌جا شده (حجم جسم) است. اگر جسمی را در سیالی با جرم حجمی غوطه‌ور کنیم، با توجه به شکل (۱۹) خواهیم داشت:

$$\vec{F} = \vec{w} - \vec{w}' \qquad (۲)$$

که در آن، $\vec{F}$ نیروی خالصی است که از طرف سیال به جسم وارد می شود و بنابر قانون ارشمیدس، با وزن سیال جابه‌جا شده برابر است آب توجه به رابطه‌های (۱) و (۲) داریم:



شکل۱۹

$$\rho' v g = w - w' = (m - m')g \qquad (۳)$$

از آن‌جا که طبق قانون ارشمیدس حجم سیال جابه‌جا شده با حجم جسم غوطه‌ور در سیال برابر است می‌توان نوشت:

$$V = \frac{m}{\rho} \qquad (٤)$$

که در آن جرم حجمی جسم غوطه ور در سیال است.

$$\rho = \frac{m\rho' g}{(m-m')g} = \frac{m\rho' g}{w-w'} = \frac{m\rho' g}{B}, \qquad w - w' = B$$

از روابط (۳) و(٤) داریم:

و با استفاده از این رابطه، با توجه به مشخص بودن جرم حجمی سیالی که جسم در آن غوطه‌ور است می‌توان جرم حجمی جسم را بدست آورد.

شرح آزمایش

تعیین چگالی جسم جامد

وزنه مورد نظر را به نیروسنج آویزان کنید. وزن واقعی آن را از روی نیروسنج بخوانید. بشر را پر از آب کنید و وزنه آویزان به نیرو سنج را داخل آن فرو ببرید، و وزن ظاهری را یادداشت کنید. تفاضل نیروها را بدست آورید. و با B معرفی کنید. در فرمول زیر بگذارید و ρ_m را بدست آورید.

$$B = |w_2 - w_1|$$

$$\rho_i = \frac{\rho_w g m}{B} \ , \ \rho_w = 1000 \frac{kg}{m^3} \ , \ g = 9.81 \, m/s^2$$

مقدار واقعی $\rho_{\text{برنج}}$ برابر است با:

$$\rho_m = 8500 \, kg/m^3$$

m	W۱	W۲	B	ρ_i	$\Delta\rho = \lvert\rho_m - \rho_i\rvert$	$\frac{\max\Delta\rho}{\rho_m}\times۱۰۰$

سؤالات:

۱. چرا در آزمایش مایعات باید دمای آب و مایع مورد نظر یکسان باشد؟

۲. اجسام جامدی که چگالی آن‌ها از آب سبکتر را چگونه اندازه‌گیری می‌کنند؟

۳. جرم حجمی مقداری ماسه را چگونه می‌توان تعیین کرد؟

٤. چرا در داخل استوانه مندرج به طور مقعر قرار می‌گیرد؟

۵. عوامل خطا در آزمایش را ذکر کنید؟

آزمایش شماره ۸

قانون هوک

هدف: محاسبه ثابت فنر، بررسی روابط مربوط به فنرهای سری و موازی

وسایل مورد نیاز: فنرهای مختلف، پایه زمینی کوچک با بدنه مندرج، وزنه‌های مختلف، پایه میله‌گیر، کرنومتر

مبانی نظری:

جهت نیروی فنر همواره به گونه‌ای است که می‌خواهد جسم را به حالت تعادل برگرداند، این نیرو، نیروی بازگرداننده نامیده می‌شود. نیروی بازگرداننده‌ی فنر با تغییر طول فنر متناسب است و از رابطه‌ی روبرو که به قانون هوک معروف است، بدست می‌آید:

در این رابطه، x تغییر طول فنر، F نیروی بازگرداننده‌ی فنر و k ثابت تناسب است که به ویژگی‌های فنر بستگی دارد و آن را ثابت نیروی فنر می‌نامیم. یکای k در SI نیوتون بر متر (N/m) است. علامت منفی در فرمول جهت نیروی باز گرداننده‌ی فنر را که همواره خلاف جهت بردار مکان جسم است را نشان می‌دهد.

برای محاسبه ضریب سختی یک فنر به دو روش عمل می‌کنیم:

۱- استفاده از تغییر طول فنر به ازای نیروهای متفاوت

۲- استفاده از ارتعاشات فنر.

اگر مجموعه جرم و فنر را به اندازه x از وضعیت تعادل به پایین کشیده و رها سازیم جسم حول وضعیت تعادلی خود نوسان می‌کند و بر طبق قانون هوک و قانون دوم نیوتون می‌توان معادله حرکت حاکم بر جسم را بدست آورد:

$$\boldsymbol{F = -kx}$$

$$\boldsymbol{F = ma = -kx \Longrightarrow \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0}$$

که بدست می‌آید:

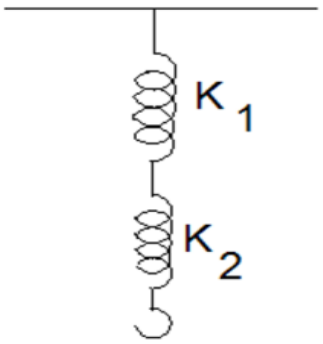
$$\boldsymbol{T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = \frac{2\pi}{\omega}}$$

اگر به فنری با ثابت وزنه‌ای به جرم بیاویزیم در حالت تعادل جدید تغییر طول فنر در حالت ایستا بر طبق قانون هوک از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\sum F = 0 \Longrightarrow mg = kx \quad \Longrightarrow k = \frac{mg}{x}$$

بهم بستن فنرها:

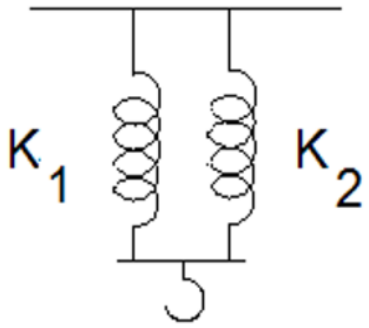
فنر سری:



شکل۲۰

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}, \quad T^2 = T_1^2 + T_2^2$$

فنر موازی:



شکل۲۱

$$k = k_1 + k_2, \quad \frac{1}{T^2} = \frac{1}{{T_1}^2} + \frac{1}{{T_2}^2}$$

روش انجام آزمایش:

الف) اندازه‌گیری ضریب ثابت فنر با افزایش طول فنر (روش استاتیکی)

به فنر میله‌ای آویزان کنید تا بتوانید وزنه‌ها را روی آن بگذارید با خط کش طول فنر را بدست آورید سپس وزنه‌های به ترتیب ۵۰ gr ، ۱۰۰ grو ۱۵۰ gr (هر کدام جداگانه) را به فنر آویزان کنید و دوباره طول فنر را بدست آورید. تفاضل طول را بدست آورده و با استفاده از فرمول روبرو k را بدست آورید:

$$k = \frac{mg}{x}$$

فنر را عوض کنید و سختی فنر جدید را با توجه به مراحل بالا بدست آورید.

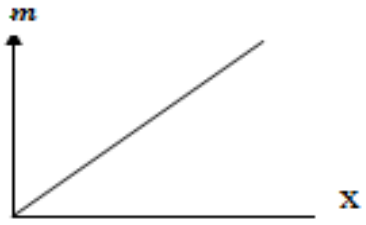
جدول زیر را کامل کنید:

M	x	$K=\frac{mg}{x}$	$\Delta k=\lvert\bar{k}-k_i\rvert$	$\frac{\max\Delta k}{\bar{k}}\times 100$
۵۰				
۱۰۰				
۱۵۰				

خطای مطلق و خطای نسبی را بدست آورید:

$$tan\,\theta=\frac{\Delta m}{\Delta x}$$

$$\bar{k}=g\,tan\,\theta$$



نمودار m بر حسب x را رسم نموده و شیب خط را بدست آورید؟

ب)اندازه‌گیری ثابت فنر از طریق نوسانات فنری (روش دینامیکی)

ابتدا وزنه $۲۰۰gr$ ســـپس $۲۵۰gr$ و در آخر $۳۰۰gr$ به انتهای فنر آویخته (هر کدام جداگانه) فنر را به آرامی به اندازه ۱ تا ۲ سانتی‌متر به پایین کشیده، رها کنید در لحظه رها کردن کرنومتر را بزنید و زمان ۲۰ نوسان را اندازه‌گیری کنید. هر بار که پایین می‌آید و بالا می‌رود یک نوسان است. زمان t و تعداد نوسانN را در فرمول $T=\frac{t}{N}$ گذاشته T را بدست آورید و سپس در فرمول زیر بگذارید و k ضریب سختی فنر را به دست آورید.

در این قسمت جرم میله آویزان شده به فنر را در نظر بگیرید: $m=۱۵\ gr$ میله

$$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}\rightarrow k=\frac{4\pi^2m}{T^2}$$

جدول را کامل کنید:

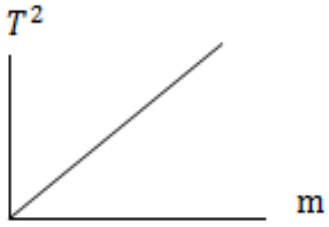
m	t	$T=\frac{t}{N}$	T^2	$k=\frac{4\pi^2m}{T^2}$	$\Delta k=\lvert\bar{k}-k_i\rvert$	$\frac{\max\Delta k}{\bar{k}}\times 100$

خطای مطلق و نسبی را بدست آورید؟

نمودار T^2 بر حسب m را رسم کنید؟

$$tan\,\theta = \frac{\Delta T^2}{\Delta m}$$

$$\bar{k} = \frac{4\pi^2}{tan\,\theta}$$



ج) بهم بستن فنرها

۱- فنرها را بصورت موازی به هم و صل کنید مانند مرحله الف) وزنه‌ها ۵۰ gr و ۱۰۰ gr و۱۵۰ gr آویزان کنید. تمامی عملیات مرحله الف را تکرار کنید و از فرمول $k = \frac{mg}{x}$ معادل را بدست آورید.

و با توجه به این‌که در قسمت الف و ب k تک تک فنرها را به دست آوردیم k معادل را از رابطهٔ زیر بدست آورید.

$k = k_1 + k_2$ نتیجه گیری کنید؟

۲- فنرها بصورت متوالی (سری) بهم وصل کنید و تمامی مراحل قبل را تکرار کرده این بار k معادله را در فرمول روبرو بگذارید و k معادل را بدست آورید:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

نتیجه گیری کنید؟

جدول در حالت سری

M	x	$K = \frac{mg}{x}$	$\Delta k = \lvert\bar{k} - k_i\rvert$	$\frac{\max \Delta k}{\bar{k}} \times 100$
۵۰				
۱۰۰				
۱۵۰				

جدول در حالت موازی

$\mathbf{M}$	$\mathbf{x}$	$K = \frac{mg}{x}$	$\Delta k = \lvert \bar{k} - k_i \rvert$	$\frac{\max \Delta k}{\bar{k}} \times 100$
۱۰۰				
۱۵۰				
۲۰۰				

سوالات:

۱. چرا جرم میله‌ای که آویزان است در قسمت «الف» در نظر نگرفتیم؟

۲. در قسمت (ب) اگر فنر را به جای کشیدن فشرده کنیم و سپس رها کنیم آیا در نتایج تغییری حاصل می‌شود؟

۳. رابطه‌های ضریب سختی فنر در حالت موازی و سری را ثابت کنید؟

٤. عوامل مؤثر بر خطا را ذکر کنید؟

آزمایش شماره ۹

گشتاور لختی (اینرسی دورانی)

هدف: تعیین لختی دورانی اجسام مختلف با استفاده از فنر پیچشی

وسایل مورد نیاز: دستگاه گشتاور لختی، میله، وزنه، کره توپر، دیسک- استوانه توپر، نیروسنج، کرنومتر

مبانی نظری

مجموع حاصلضرب‌های جرم ذرات در مجذور فاصله شان از محور دوران را با I نشان می‌دهیم و آن را اینرسی دورانی یا گشتاور دورانی یا گشتاور لختی جسم نسبت به محور دوران مورد نظر می‌نامیم:

$$\boldsymbol{I = \sum mr^2}$$

اینرسی دورانی یک جسم به محور دوران خاصی که حول آن می‌گذرد و همچنین به شکل و نحوه توزیع جرم جسمی بستگی دارد. اینرسی دورانی دارای ابعاد ML^2 است و معمولا بر حسب $kg.m^2$ بیان می‌شود.

اینرسی دورانی نمایانگر مقاومت یک جسم در مقابل تغییر حرکت دورانی، حول یک محور معین می‌باشد. اگر شکل ظاهری و ابعاد جسم به گونه‌ای باشد که جرم خیلی نزدیک به محور دوران باشد کمیت r برای ذرات تشکیل دهنده جسم نسبتا کوچک است به همین دلیل گشتاور دورانی برای یک استوانه توپر که محور دوران آن همان محور استوانه است کوچک‌تر از گشتاور دورانی برای یک دیسک هم جرم یا کره توپر می‌باشد.

اینرسی دورانی از رابطهٔ $I = \int r^2 dm$ بدست می‌آید که در آن انتگرال را روی تمام جسم می‌گیریم.

برای ایجاد حرکت نوسانی از فنر حلزونی تخت استفاده می‌کنیم که از قانون هوک پیروی می‌کند برای پیچش‌های کوچک، گشتاور بازگرداننده با جابه‌جایی زاویه‌ای متناسب است به طوری که داریم:

$$\boldsymbol{\tau = D\theta}$$

ضریب D یک کمیت ثابت است که به خواص فنر بستگی دارد و ضریب بازگردان زاویه‌ای نامیده می‌شود. علامت منفی نشان می‌دهد که گشتاور در جهت مخالف، جابه‌جایی زاویه‌ای دارد.

معادله حرکت چنین دستگاهی

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

$$\boldsymbol{-D\theta = I\frac{d^2\theta}{dt^2} \rightarrow \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{D}{I}\theta = 0}$$

با توجه به تشابه میان معادله اخیر و معادله حرکت نوسانی ساده خطی، زمان تناوب بدست می‌آید.

$$\boldsymbol{T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{D}}}$$

نکته: ذره در حال حرکت که روی حرکت دایره‌ای حرکت کند:

$$\boldsymbol{K = \frac{1}{2}mV^2 = \frac{1}{2}M(r^2\omega^2) = \frac{1}{2}(mr^2)\omega^2}$$

روش انجام آزمایش:

الف) تعیین ثابت پیچشی فنر (D) یا ضریب بازگردان فنر با استفاده از گشتاور نیرو

ابتدا میله فلزی را روی محور فنر قرار داده. سپس نیروسنج را در راستای عمود بر میله افقی و در فاصله دلخواه و معینی از محول (d) به میله متصل کنید. به وسیله نیروسنج به میله نیرو وارد کرده و میله را با اندازه $\theta = \frac{\pi}{۲}$ پاد ساعتگرد بچرخانید با استفاده از رابطه زیر D ثابت پیچشی فنر را به دست آورید.

$$\boldsymbol{dx\ F = dF\ sin\theta = dF\ sin 90 = dF = \tau} \quad (۱)$$

$$\boldsymbol{\tau = D\theta \Longrightarrow D = \frac{d.F}{\theta}} \quad (۲)$$

از ۱ و ۲ نتیجه می‌شود.

θ را هنگام قرار دادن در فرمول باید به رادیان تبدیل کرد.

و در آخر جدول زیر را کامل کنید.

d	θ	F	$D = \frac{d.F}{\theta}$
۵			
۱۰			
۱۵			

ب) بدست آوردن گشتاور لختی اجسام مورد نظر

هر کدام از اجسام کره توپر، دیسک و استوانه را بر روی صفحه مدرج قرار داده به اندازهٔ $\pi/۲$ در جهت پادساعتگرد چرخانده و زمان ۲ نوسان را برای آن اندازه‌گیری می‌کنیم از طرفی می‌دانیم:

$$T = \frac{t}{N} \quad (٣) \qquad T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{D}} \rightarrow I = \frac{DT^2}{4\pi^2} \quad (٤)$$

با بدســت آوردن مقدارT در رابطه (۳) و قرار دادن آن در رابطه(٤) می‌توان مقدار گشــتاور لختی هر جســم را به طریق عملی بدست آورد.

جدول را کامل کنید خطای مطلق و نسبی را بدست آورید؟

نام اجسام	$t =$ نوسان $2\ (s)$	$T = \frac{t}{N}(s)$	$\mathrm{I}_{\text{تئوری}}\left(kg.m^{۲}\right)$	$\mathrm{I}_{\text{عملی}} = \frac{DT^2}{4\pi^2}$	$\Delta I = \left\lvert \mathrm{I}_{\text{عملی}} - \mathrm{I}_{\text{تئوری}} \right\rvert$	$\frac{\Delta \mathrm{I}}{\mathrm{I}_{\text{تئوری}}} \times 100$
میله						
کره توپر						
استوانه						
دیسک سنگین						
دیسک سبک						
قضیه محورهای موازی						

نام اجسام	جرم (gr)	قطر یا طول	گشتاور لختی
کره توپر	1700.55	۱۵	نسبت به یکی از قطرهای آن $\mathrm{I} = \frac{۲}{۵}\mathrm{MR}^{۲}$
استوانه	۵۷۳.۶	9	نسبت به محور استوانه $\mathrm{I} = \frac{۱}{۲}\mathrm{MR}^{۲}$
میله	۱۸۳.۱۵۹	۵۳	نسبت به محوری که از مرکز می‌گذرد و بوسیله عمود است $\mathrm{I} = \frac{۱}{۱۲}\mathrm{M}L^{۲}$
دیسک سبک	۳۶۲.۲۰	۳۰	نسبت به محور دیسک $\mathrm{I} = \frac{۱}{۲}\mathrm{MR}^{۲}$
دیسک سنگین	۷۵۳.۸	۲۰	نسبت به محور دیسک $\mathrm{I} = \frac{۱}{۲}\mathrm{MR}^{۲}$
قضیه محورهای موازی	۳۶۲.۲	۳۰	h فاصله میان دو محور $I = \mathrm{I}_{\mathrm{cm}} + \mathrm{mh}^{۲}$

سوالات:

۱. کاربرد گشتاور لختی را شرح دهید؟
۲. گشتاور لختی جسم به چه عواملی بستگی دارد؟
۳. گشتاور لختی یک نیم کره را نسبت به مرکز آن حساب کنید؟
٤. عوامل خطا در هر قسمت آزمایش را ذکر کنید؟

آزمایش شماره ۱۰

حرکت پرتابی

هدف: بررســـی ســـرعت اولیه پرتاب- برد و ماکزیمم ارتفاع در حرکت پرتابی به عنوان تابعی از زاویه پرتاب و زمان اوج

وسایل آزمایش: میز سقوط حرکت پرتابی همراه با پایه‌های قابل تنظیم- پرتابی همراه با سنسور- تایمر دیجیتالی با دقت ۰.۰۰۰۱ ثانیه- متر – ترازو- گلوله- جعبه شن یا نمک

مبانی نظری:

اگرجســمی تحت زاویه‌ای نسـبت به افق با سـرعت اولیه به هوا پرتاب شـود، به خاطر وجود جاذبه زمین حرکت پرتابه در را ستای قائم با شتاب ثابت به طرف مرکز زمین خواهد بود و در را ستای افق چون به ذره هیچ نیرویی وارد نمی‌شود، حرکت با سرعت ثابت است.

طبق قانون اول نیوتن حرکت جسم یکنواخت خواهد بود:

$$x = V_{0x}t$$

که $V_{.x}$ مؤلفه سرعت اولیه در امتداد محور xاست.

در راستای محور y:

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 + V_{0y}t$$

$$\frac{dy}{dx} = tan\,\theta - \frac{g}{2V_0^2 cos^2\theta}2x = 0,\ \begin{cases} V_{0x} = V_0\,cos\,\theta \\ V_{0y} = V_0\,sin\,\theta \end{cases}$$

اگر از روابط بالا را حذف کنید خواهیم داشت:

معادله مسیر: $y = x\tan\theta - \frac{g}{2V_0^2\cos^2\theta}\mathrm{x}^2$

چون y و θ و $V_{.}$ ثابت هستند پس معادله فوق یک معادله سهمی ا ست. زمانی که جسم در بالاترین نقطه مسیر قرار می‌گیرد y ماکزیمم مقدار خود را دارای باشد.

زمان پرتاب: $t = \frac{V_0\,sin\,\theta}{g}$, برد پرتابه : $R = \frac{{V_0}^2\,sin\,2\theta}{g}$

روش انجام آزمایش:

ابتدا دستگاه را به کمک تراز آبی بر روی سطح افق تنظیم می‌کنیم. دستگاه حرکت پرتابی دارای ۲ سنسور می‌باشد که فاصله بین این دو سنسور $٤.٥\ cm$ است پس فنر دستگاه حرکت پرتابی را در یکی از سه حالت آن قرار دهیم و گلوله را در جای خود گذاشته و ضامن دستگاه را بزنید و پرتاب صورت می‌گیرد.

زمان سنج فاصله زمانی بین دو سنسور را به نشان می‌دهد.

بدین ترتیب با دانستن $\mathrm{t, x}$ می‌توان سرعت اولیه پرتاب را با استفاده از رابطه $V = \frac{\mathrm{x}}{\mathrm{t}}$ بدست آورد.

سپس سنسور را از دستگاه جدا کرده در این حالت باید دستگاه پرتابه روی سطح افق باشد و شاخص زاویه روی صفر نقاله تنظیم باشد و پیچ مربوط به شاخص را روی صفر درجه محکم می‌کنیم پس از جدا کردن سنسور دستگاه حرکت پرتابی با پیچ‌هایی که روی دسته دستگاه حرکت پرتابی است می‌توان زاویه را تغییر داد و زاویه را روی ٣٠° و ٦٠° و ٤٥° قرار دهید و هر بار مقدار R را بدست آورید. مقدار R از دهانه پرتاب تا اولین محل برخورد می‌باشد برای هر زاویه ۳ بار پرتاب می‌کنیم و میانگین را بدست می‌آوریم:

θ	t_1	t_2	t_3	$\bar{\mathrm{t}}$	$V_0 = \frac{x}{t}$

اگر محل برخورد گلوله با محل پرتاب گلوله هم سطح باشند در این صورت می‌توان برد را محاسبه کرد

$$y_0 = 0 \quad , \quad R = \frac{V_0^2 \sin 2\theta}{g} \qquad g = 9.81\, m/s^2$$

سپس خطای مطلق و نسبی را بدست آورید و ارتفاع اوج زمان را بدست آورید.

θ	$R_{\text{تئوری}} = \frac{V_0^2 \sin 2\theta}{g}$	$R_{\text{عملی}}$	$\Delta R = \lvert R_{\text{ت}} - R_{\text{عملی}} \rvert$	$\frac{\Delta R}{R_{\text{ت}}} \times 100$	$\mathrm{h} = \frac{V_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$	$\mathrm{t} = \frac{V_0 \sin \theta}{g}$
۳۰						
۴۵						
60۴						

سوالات:

۱. از لبه یک بلندی به ارتفاع h پرتابه‌ای با سرعت افقی v پرتاب می‌شود و پس از ۵ ثانیه به زمین می‌رسد. اگر سرعت پرتابه دو برابر شود، چند ثانیه طول می‌کشد تا پرتابه به زمین برسد.

۲. آزمایشی پیشنهاد کنید که به کمک آن بتوان سرعت آب را در حین خارج شدن از شلینگ اندازه گرفت؟

آزمایش شماره ۱۱

آونگ فیزیکی

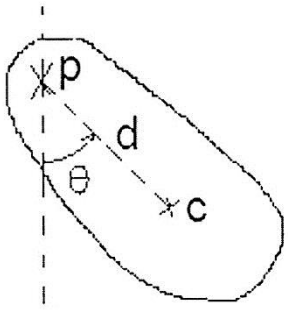
هدف آزمایش: محاسبه لختی دورانی (ممان اینرسی) اجسام مختلف

وسایل آزمایش: زمان شمار دیجیتال (count time recorder)- پاندول‌های فیزیکی (مثلثی، مربعی، میله‌ای، بدنهٔ آونگ با نشیمنگاه سخت، سه پایهٔ زمینی بزرگ قابل تنظیم، متر، خط کش و گیره مربوطه

شکل۲۲

تئوری آزمایش

هر جسم صلبی که بتواند دریک صفحه قائم حول محوری که از آن صفحه می‌گذرد نوسان نماید، آونگ فیزیکی نامیده می شود، این تعمیمی از آونگ ساده است که در آن یک نخ وزن یک ذره را نگاه داشته است. همه آونگ‌های حقیقی در واقع آونگ‌های فیزیکی هستند. برای سهولت آونگ را به شکل یک جسم ورقه‌ای، لایه مسطح یا یک میله، در نظر می‌گیریم و محور نوسان را عمود بر صفحه جسم انتخاب می‌کنیم در شکل (۲۳) جسمی با شکل غیر مشخص حول محور بدون اصطکاکی که عمود بر صفحه کاغذ بوده و از نقطه P گذشته، به اندازه زاویه θ از وضع تعادل خود جابه‌جا شده و نوسان می‌کند، اگر نقطه C مرکز جرم جسم و فاصله آن تا نقطه P مساوی d باشد و لختی دورانی آن، نسبت به محوری که از P می‌گذرد I و جرم جسم نیز M باشد، گشتاور نیروی بازگرداننده به ازای جابه‌جایی زاویه‌ای θ برابر خواهد بود با: $\tau = -Mgd\sin\theta$



شکل ۲۳

این گشتاور از مؤلفه مماسی نیروی گرانش ناشی می‌شود.

که با فرض کوچک بودن دامنه نوسان می‌توان $\sin\theta = \theta$ قرار داد و در نتیجه خواهیم داشت.

$$\boldsymbol{\tau = -Mgd\theta}$$

یا $$\tau = -K\theta$$

که در آن $$K = Mgd$$

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

در نتیجه خواهیم داشت

$$\boldsymbol{\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{K}{I}\theta = 0}$$

یا $\ddot{\theta} + \omega^2\theta = 0$ که $\omega = \sqrt{k/I}$ فرکانس زاویه‌ای حرکت نوسانی آونگ است، با توجه به تشابه معادله فوق با معادله نوسانگر هارمونیک می‌توان دوره تناوب یک آونگ فیزیکی را از رابطه زیر بدست آورد.

$$\boldsymbol{T = 2\pi\sqrt{I/k} = 2\pi\sqrt{I/Mgd}}$$

بنابراین این لختی دورانی آونگ فیزیکی از رابطه زیر بدست خواهد آمد:

$$\boldsymbol{I = Mgd.T^2/4\pi^2}$$

روش آزمایش

برای انجام آزمایش و محاسبه لختی دورانی از دو جسم مسطح و یک میله با ابعاد و جرم‌های معینی استفاده می‌نماییم. ابتدا یکی از اجسام مسطح مورد نظر را از یک گوشه که در آن سوراخی تعبیه شده است روی محور دوران قرار داده و آن را کمی از حالت تعادل (زاویه کمتر از ٦ درجه) منحرف کرده و سپس رها کنید، از لحظه رها شدن با زمان شمار، زمان پنجاه نوسان کامل رااندازه‌گیری نمایید. اگر آن را بر ۵۰ تقسیم نماییم T یا زمان تناوب حرکت آونگ بدست می‌آید. برای هر جسم این آزمایش را سه بار تکرار کرده و نتایج را در جدول زیر یادداشت نمایید.

با اندازه‌گیری M و d و داشتن T می‌توان I را محاسبه نمود.

مقدار حاصل از آزمایش را با مقدار حاصل از تئوری مقایسه نموده و درصد خطا را بدست آورید.

جسم	t	T	d	I	تئوری
میله به طول l					$\frac{۱}{۳}ml^۲$
مربع به ضلع a					$\frac{۲}{۳}ma^۲$
مثلث به ضلع a					$\frac{۵}{۱۲}ma^۲$

سوالات:

۱- لختی دورانی یک مثلث متساوی الاضلاع را نسبت به محوری که در یک راس عمود بر صفحه مثلث است بدست آورید.

۲- لختی دورانی مربع را نسبت به محوری که بر یک راس عمود است بدست آورید.

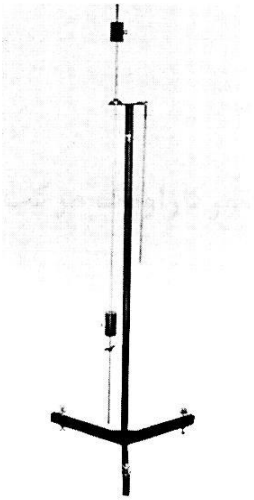
۱- لختی دورانی یک میله را نسبت به محوری که در یک انتهای میله بر آن عمود است بدست آورید.

آزمایش شماره ۱۲

آونگ مرکب

هدف آزمایش: تعیین شتاب جاذبه زمین

و سایل آزمایش: زمان شمار دیجیتال (count time recorder)- پاندول‌های آونگ کاتر با وزنه‌های متحرک و نشیمنگاه از جنس تیغه سخت، بدنهٔ آونگ با نشیمنگاه سخت، سه پایهٔ زمینی بزرگ قابل تنظیم، متر، خط کش و گیره مربوطه



شکل۲٤

مبانی نظری:

جسم صلب M که می‌تواند حول محور O نوسان نماید آونگ فیزیکی یا آونگ مرکب نامیده می‌شود و دوره تناوب آن از رابطه $T = ۲\pi\sqrt{\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{Mga}}}$ بدست می‌آید که در این رابطه T زمان نوسان کامل کم دامنه آونگ حول محور و I ممان اینرسی آونگ حول همین محور، M جرم آونگ g شتاب گرانش و a فاصله مرکز جرم آونگ تا محور O نوسان می‌باشد، که اگر این رابطه را به رابطه $T = ۲\pi\sqrt{\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{g}}}$ مقایسه کنیم $l = \frac{I}{Ma}$ بدست می‌آید، یعنی طول آونگ ساده همزمان با آونگ مرکب مساوی $\frac{I}{Ma}$ است یعنی می‌توان تمام جرم آونگ را در فاصله $\frac{I}{Ma}$ از محور نوسان آونگ فرض نمود و به این نقطه (O) مرکز نوسان گویند.

قضیه هویگنس: اگر دو نقطه O و O' در دو طرف مرکز جرم جسم به طور غیر متقارن قرار بگیرند که زمان نوسان کامل حول این دو محور مساوی باشد، $O'O$ مساوی طول آونگ ساده همزمان با آونگ مرکب است. مطابق تعریفی که در بالا نمودیم. نقاط O و O' مرکز نوسان اند. برای اثبات این قضیه نخست باید بدانیم:

$I_o = I_G + Ma^2$ یعنی ممان اینر سی نسبت به محور O مساوی با ممان اینر سی جسم نسبت به محوری که موازی O بوده و از مرکز جرم می‌گذرد به علاوه حاصل ضرب جرم جسم در مجذور فاصله مرکز جرم جسم تا این محور و اگر فرض نماییم $I_G = Mk^2$ به k شعاع ژیراسیون می‌گویند.

بنابراین رابطه زمان نوسان کامل با ممان اینرسی و جرم و غیره به صورت زیر در می‌آید.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M(k^2+a^2)}{Mga}}$$

حال طبق فرض قضیه $T_1 = T_2$ بوده در نتیجه داریم:

$$2\pi\sqrt{\frac{M(k^2+a_1{}^2)}{Mga_1}} = 2\pi\sqrt{\frac{M(k^2+a_2{}^2)}{Mga_2}}$$

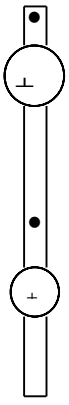
و از آن‌جا: $\frac{k^2+a_1{}^2}{ga_1} = \frac{k^2+a_2{}^2}{ga_2}$ این رابطه در صورتی صدق می‌کند که $k^2 = a_1 a_2$ باشد، قبلا داشتیم $l = \frac{I}{Ma}$ بنابراین:

$$L = \frac{M(a_1a_2+a_1{}^2)}{Ma_1} = a_1 + a_2$$

در نتیجه اگر دو محور نوسان در دو طرف مرکز جرم پیدا کنیم که زمان نوسان کامل برای آن‌ها مساوی باشد فاصله این دو محور مساوی طول آونگ ساده همزمان با آونگ مرکب است در این رابطه باید a_1 غیر از a_2 باشد یعنی $a_1 \neq a_2$ و دو نقطه نسبت به مرکز جرم قرینه نباشد. a_1 فاصله محور O تا مرکز جرم و a_2 فاصله مرکز جرم تا محور O' و مجموع این فاصله یعنی $O'O$ فاصله دو محور از هم است.

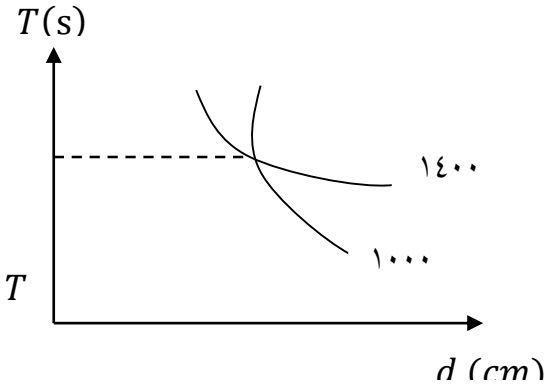
روش آزمایش

دستگاه تشکیل شده از میله‌ای که در دو طرف آن دو تیغه برای نوسان تعبیه شده و روی این میله دو وزنه به شکل استوانه نصب گردیده که محل قرار گرفتن آن در روی میله بوسیله پیچی قابل تغییر است. به وسیله تغییر محل دو وزنه مرکز جرم دستگاه را آن قدر تغییر می‌دهند که زمان نوسان نسبت به دو محور مساوی شود. وزنه‌ای که خارج از دو محور قرار دارد ۱۰۰۰ گرم و وزنه‌ای که داخل دو تیغه است ۱۴۰۰ گرم جرم دارد.



وزنه‌ای را که خارج از دو محور است درمحلی روی میله ثابت نموده (از وسط کمی بالاتر و محل وزنه داخل را ۵ سانتی‌متر ۵ سانتی‌متر تغییر دهید و زمان نوسان کامل حول دو محور را پیدا کرده و منحنی تغییرات زمان را نسبت به این فواصل روی کاغذ میلی‌متری رسم نمایید این دو منحنی یکدیگر را در نقطه‌ای قطع می‌کنند و این همان زمان مشترک است و طول آونگ ساده همزمان با آونگ مرکب فاصله دو تیغه است که یک متر یا ۱۰۰ سانتی متر

می با شد. برای تو ضیح بی شتر وزنه هزار گرمی را در فا صله کمی بالاتر از و سط قطعه بالایی و نزدیک به انتهای میله نصب نمایید و وزنه هزار و چهار صد گرمی را در فا صله یک دو سانتی متر از تیغه دومی ثابت نموده و فا صله آن را پنج سانتی متر، پنج سانتی متر تغییر دهید و نتایج را در جدول نو شته و از روی جدول منحنی را ر سم نمایید و برای این که نتایج دقیق با شد هر بار ۲۰ نو سان کامل را بشمارید و از روی آن زمان یک نو سان کامل را بدست آورید روی محور زمان هر سانتی متر را معادل یکصدم ثانیه و روی محور d هر دو سانتی متر را معادل ۵ سانتی متر میله انتخاب نمایید.



$d(cm)$	$t_{1000}(s)$	$T_{1000}(s)$	$t_{1400}(s)$	$T_{1400}(s)$
۰				
۵				
۱۰				
۱۵				
۲۰				
۲۵				
۳۰				
۳۵				

پس از بدســـت آوردن از روی نمودار و همچنین معلوم بودن $L = ۱m$، اکنون با اســـتفاده از رابطه زیر می‌توان شتاب گرانش زمین را محاسبه نمود.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \rightarrow T^2 = 4\pi^2\frac{L}{g} \rightarrow g = \frac{4\pi^2}{T^2}$$

با توجه به مقدار g حاصل از آزمایش خطای ماکزیمم نسبی $\left(\frac{\Delta g}{g}, \Delta g\right)$ را محاسبه نمایید.

A Laboratory Manual of physics 1

General