

آزمایش ۲: مطالعه‌ی سقوط آزاد

هدف: اندازه‌گیری شتاب جاذبه‌ی زمین با مطالعه‌ی سقوط آزاد.

سقوط آزاد به حرکت اجسامی گفته می‌شود که فقط در اثر نیروی گرانش حرکت می‌کنند. برای بررسی سقوط آزاد باید سعی شود که غیر از نیروی گرانش زمین تمام نیروهای مؤثر بر جسم در حال سقوط حذف شود. یکی از این نیروها اثر مقاومت هواست. اگر یک تکه کاغذ همزمان با یک گلوله از یک نقطه رها شود، دیده می‌شود که گلوله زودتر از کاغذ به زمین می‌رسد. علت دیرتر رسیدن کاغذ به سطح زمین، جرم کم آن نیست. بلکه اثر مقاومت هوا مانع از حرکت آن به سمت زمین می‌شود. اگر کاغذ را مچاله کنیم، در مدت زمان کمتری به زمین خواهد رسید. چون در این حالت اثر مقاومت هوا بر حرکت کاغذ کمتر می‌شود. بنابراین در محیط خلأ گلوله و کاغذ همزمان به زمین می‌رسند.

طبق قانون گرانش نیوتون دو جسم به جرم‌های m_1 و m_2 که در فاصله‌ی r از یکدیگر قرار گرفته‌اند، نیروی جاذبه که متناسب با اندازه‌ی هر جرم و عکس مجذور فاصله‌ی آنهاست به یکدیگر وارد می‌کنند:

$$F_{12} = F_{21} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad \text{و} \quad G = 6.67 \times 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2} \quad (1)$$

که در آن G ثابت گرانش نامیده می‌شود. حال اگر نیروی گرانش بین زمین و یک جسم را در نظر بگیریم، خواهیم داشت:

$$F = G \frac{Mm}{(R+h)^2} \quad (2)$$

که در آن M و R به ترتیب جرم و شعاع زمین و h ارتفاع جسم m از سطح زمین است. رابطه‌ی فوق را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$F = mg \quad (3)$$

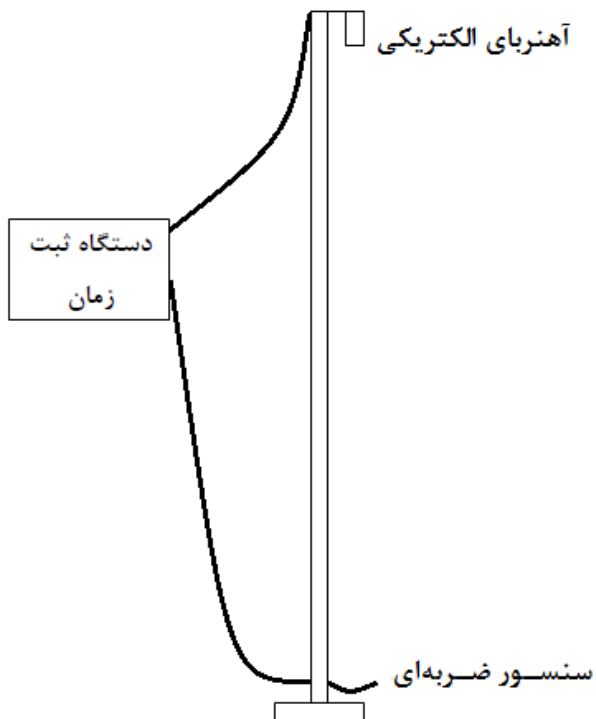
که در آن g شتاب جاذبه‌ی زمین است. با توجه به اینکه $R \gg h$ است، می‌توان از h در برابر R صرف نظر کرد. در عمل زمین به صورت کره نیست. بلکه یک بیضی‌گون دوار است که در قطب‌ها پهن شده و در استوا برآمدگی دارد. در این حالت مقدار g از $9.78039m/s^2$ در استوا تا $9.83217m/s^2$ در قطب تغییر می‌کند.

معروف‌ترین حرکت با شتاب ثابت، سقوط آزاد یک جسم به طرف مرکز زمین در اثر نیروی جاذبه‌ی زمین است. با توجه به اینکه در نزدیکی سطح زمین شتاب جاذبه ثابت فرض می‌شود، می‌توان از معادلات حرکت با شتاب ثابت برای توصیف سقوط آزاد جسم استفاده کرد. بدین ترتیب زمان سقوط آزاد یک جسم که از ارتفاع h از سطح زمین بدون سرعت اولیه رها می‌شود، از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (۴)$$

در این آزمایش مطابق شکل یک سنسور (حسگر) ضربه‌ای و یک آهنربای الکتریکی روی یک خط‌کش عمودی قرار گرفته‌اند. سنسور و آهنربای الکتریکی به دستگاه الکترونیکی متصل شده‌اند. تا زمانی که از آهنربای الکتریکی جریان عبور می‌کند زمان سنج داخل دستگاه متوقف می‌باشد. با زدن دکمه‌ی مگنت دستگاه شمارنده، جریان الکتریکی از آهنربای الکتریکی عبور کرده و می‌توان با استفاده از خاصیت مغناطیسی که وجود دارد، گلوله‌ی فلزی را به آن وصل نمود. در این حالت با زدن دوباره‌ی کلید مگنت جریان الکتریکی عبوری از آهنربای الکتریکی قطع، گلوله رها شده و زمان سنج به کار می‌افتد. در اثر برخورد گلوله به سنسور ضربه‌ای، زمان سنج متوقف و زمان اندازه‌گیری شده ثبت می‌شود.

روش انجام آزمایش:



۱- دستگاه سقوط آزاد را آماده به کار کنید. برای این منظور باید ارتفاع رها سازی گلوله را تنظیم کرده و مطمئن باشید که گلوله‌ی مورد نظر به هنگام سقوط به سنسور برخورد می‌کند.

۲- با قراردادن آهنربای الکتریکی در موقعیت‌های مختلف، ۶ بار آزمایش را انجام دهید و ۶ زمان برای ۶ ارتفاع مختلف به دست آورید (سعی کنید ارتفاع‌ها از بیشینه تا یک سوم ارتفاع دستگاه انتخاب شود).

۳- با استفاده از رابطه‌ی (۴) شتاب جاذبه را برای هر حالت به دست آورید و میانگین آنها را محاسبه کنید.

۴- خطای اندازه‌گیری شتاب جاذبه در هر حالت را به دست آورده و میانگین آن را در نظر بگیرید.

۵- میانگین شتاب جاذبه را همراه با میانگین خطای آن بنویسید.

حالت	$(h \pm \Delta h) \text{ cm}$ ارتفاع	$(t \pm \Delta t) \text{ ms}$ زمان سقوط	$g (m / s^2)$ شتاب گرانش	$\Delta g = g \left(\frac{\Delta h}{h} + 2 \frac{\Delta t}{t} \right)$
۱				
۲				
۳				
۴				
۵				
۶				
$(\bar{g} \pm \Delta \bar{g}) m / s^2$				

۶- با رسم نمودار h بر حسب $\frac{1}{2}t^2$ خط راستی با شیب g خواهید داشت. با توجه به شیب به دست آمده مقدار g را به دست آورید. نمودار را به روش مطرح شده در ابتدای دستور کار به طور کامل رسم کرده و خطای شیب را به دست آورید.

آزمایش ۳: بررسی برآیند و گشتاور نیروها

هدف: ۱- بررسی تعادل جسمی که تحت تأثیر چند نیروی متقاطع قرار گرفته است ۲- استفاده از دو روش برای بررسی حالت تعادل و تعیین برآیند بردارها ۳- بررسی تعادل جسمی که تحت تأثیر نیروهای وارد بر آن می‌تواند حرکت دورانی انجام دهد.

بنابر قانون دوم نیوتون، هرگاه برآیند نیروهای وارد بر جسمی صفر باشد، می‌توان گفت که جسم در حالت تعادل قرار دارد. اگر جسم در حالت تعادل، ساکن باشد تعادل را تعادل استاتیکی و اگر جسم دارای حرکت با سرعت ثابت باشد، تعادل را تعادل انتقالی می‌نامیم. مواقعی نیروی وارد بر یک جسم موجب چرخیدن جسم حول یک نقطه یا حول یک محوری می‌شود. عاملی که باعث این چرخش می‌شود را گشتاور نیرو $\vec{\tau}$ می‌نامیم که از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \rightarrow \tau = rF \sin \alpha \quad (1)$$

که در آن r فاصله‌ی تکیه‌گاه تا نقطه اثر نیرو، α زاویه‌ی بین نیروی F و بردار r است. برای تعیین جهت τ از قاعده‌ی دست راست استفاده می‌شود. به این صورت که چهار انگشت دست راست در راستای \vec{r} (از گرانیه‌گاه به سمت نقطه اثر نیرو) به گونه‌ای قرار می‌گیرد که با چرخاندن چهار انگشت، انگشتان دست در راستای \vec{F} قرار گیرند. در این حالت انگشت شصت جهت $\vec{\tau}$ را نشان می‌دهد. حال اگر چند نیرو باعث چرخیدن یک جسم شوند، گشتاور برآیند، حاصل جمع برداری گشتاور تک تک نیروها خواهد بود:

$$\vec{\tau} = \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2 + \vec{\tau}_3 + \dots \quad (2)$$

بنابراین برای تعادل یک جسم صلب باید دو شرط اساسی برقرار باشد:

۱- برآیند نیروهای وارد بر جسم صفر باشد:

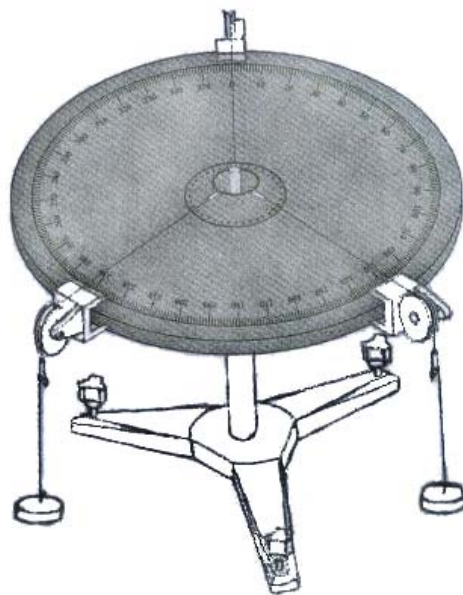
$$\sum_{i=1}^N \vec{F}_i = 0 \quad (3)$$

۲- برآیند گشتاورهای وارد بر جسم نسبت به هر نقطه‌ی دلخواه صفر باشد:

$$\sum_{i=1}^N \vec{\tau}_i = 0 \quad (4)$$

آزمایش اول: بررسی برآیند نیروها

هرگاه جسمی تحت تأثیر چند نیرو قرار داشته باشد، می‌توان گفت که جسم تحت تأثیر یک نیرویی قرار دارد که حاصل برآیند تمام نیروهای وارد بر آن است. در این آزمایش برای بررسی برآیند چند نیرو از میز نیرو استفاده می‌کنیم که در آن برای ایجاد تعادل کافی است برآیند نیروها صفر باشد. چون در این حالت نیروهای وارده در یک صفحه‌ی افقی به گونه‌ای اعمال می‌شوند که برآیند گشتاور آنها صفر است. میز نیرو شامل یک صفحه‌ی دایره‌ای شکلی است که به صورت افقی بر روی یک پایه‌ی قائمی قرار گرفته و دور تا دور آن از صفر تا ۳۶۰ درجه مدرج شده است. با استفاده از پیچ‌های تنظیم پایه می‌توان سطح میز را تراز کرد.



در مرکز صفحه شاخصی به طور عمودی وجود دارد و حلقه‌ای که به چند قطعه ریسمان متصل است طوری قرار می‌گیرد که شاخص وسط آن قرار داشته باشد. در اطراف صفحه‌ی دایره‌ای چند قرقره قرار دارد که می‌توان آنها را روی محیط صفحه جابجا کرد. نخ‌ها از روی قرقره‌ها می‌گذرند و به آنها وزنه‌هایی آویزان می‌شود. در نتیجه

حلقه توسط چند نیروی متقاطع کشیده می‌شود. با جابجایی قرقره‌ها جهت نیرو و با تغییر مقدار وزنه‌ها می‌توان اندازه‌ی نیرو را تغییر داد. وقتی دستگاه در حالت تعادل قرار داشته باشد، شاخص درست در مرکز حلقه قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه نیروی گرانش متناسب با جرم وزنه‌هاست، به جای نیرو در روابط نسبی می‌توان از جرم‌ها استفاده کرد.

برای بررسی تعادل جسمی که تحت تأثیر چند نیرو قرار گرفته است، باید نیروهای وارد بر جسم را محاسبه کرد. با توجه به اینکه نیرو یک کمیت برداری است می‌توان از روش‌های جمع برداری کمک گرفت. در این آزمایش برای بررسی تعادل نیروها از دو روش زیر استفاده می‌کنیم:

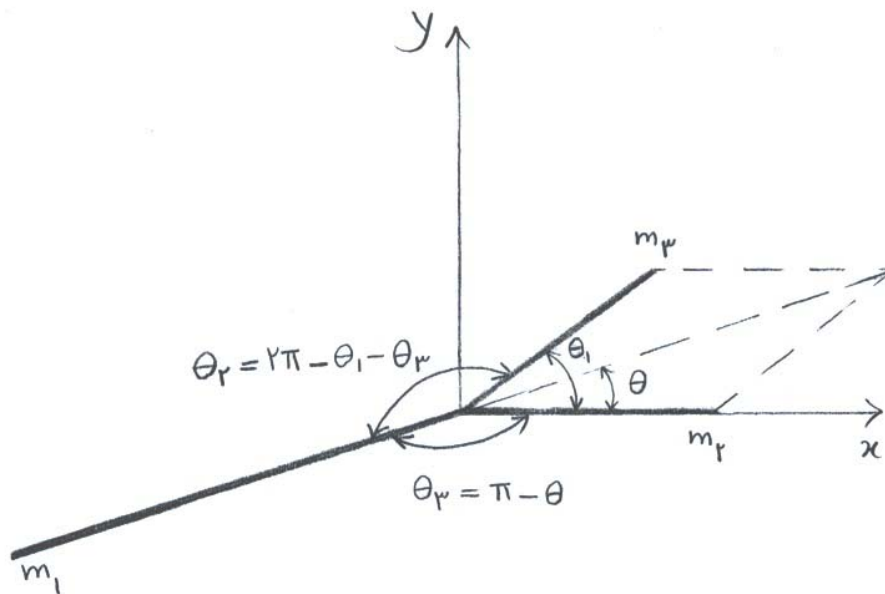
الف) استفاده از فرمول: با توجه به اینکه تعادل موقعی ایجاد می‌شود که جمع برداری تمام مؤلفه‌های افقی و همچنین جمع برداری تمام مؤلفه‌های عمودی صفر باشد، نشان داده شده که رابطه‌ای به صورت زیر می‌تواند برقرار باشد:

$$\frac{m_1}{\sin \theta_1} = \frac{m_2}{\sin \theta_2} = \frac{m_3}{\sin \theta_3} \quad (5)$$

که در آن m_i ها مربوط به جرم وزنه‌هایی است که از هر کدام از نخ‌ها آویزان می‌شوند و θ_i ها مربوط به زوایایی است که نخ‌های متصل به دو جرم دیگر ایجاد می‌کنند.

ب) روش تجزیه‌ی برداری: در این روش یک راستای افقی و عمودی اختیاری (محورهای x و y) انتخاب می‌کنیم و مؤلفه‌های افقی و عمودی هر یک از نیروها را مشخص کرده و با توجه به آنها بردار برآیند را به صورت زیر به دست می‌آوریم.

با فرض اینکه سه جرم m_1 ، m_2 و m_3 با زاویه‌های θ_1 ، θ_2 و θ_3 در حالت تعادل قرار داشته باشند، با معلوم بودن مقادیر m_1 ، m_2 و m_3 می‌توان مقادیر مجهول را به صورت زیر به دست آورد:



$$\begin{cases} m_{1x} = m_2 + m_3 \cos \theta_1 \\ m_{1y} = m_3 \sin \theta_1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} m_1 = \sqrt{m_{1x}^2 + m_{1y}^2} \\ \theta = \tan^{-1} \left(\frac{m_{1y}}{m_{1x}} \right) \end{cases}$$

روش انجام آزمایش اول:

- ۱- به کمک تراز و پیچ‌های تنظیم روی پایه، صفحه‌ی مدرج را تراز کنید تا کاملاً افقی باشد.
- ۲- دو وزنه را مطابق جدول به دو تا از نخ‌ها آویزان کنید. دقت کنید که نخ‌ها روی قرقره‌ها باشند.
- ۳- دو قرقره را مطابق جدول در مکان مشخصی نسبت به هم قرار دهید تا دو نیرو دارای زاویه‌ی مشخصی باشند.
- ۴- ریسمان سوم را با دست آنقدر جابجا کنید تا بتوانید حالت تعادل را با دست ایجاد کنید. که در این صورت می‌توانید مکان قرقره‌ی سوم و مقدار نیرو را تخمین بزنید.

۵- با توجه به تخمینی که با دست به دست آورده‌اید، مکان قرقره‌ی سوم را ثابت و نخ را از آن عبور دهید و آنقدر وزنه به نخ اضافه کنید تا تعادل در عمل ایجاد شود.

۶- این آزمایش را برای حالت‌های مندرج در جدول زیر انجام داده و جدول را کامل کنید.

نتایج تجربی						
حالت	$m_1 (gr)$	θ_1	$m_2 (gr)$	θ_2	$m_3 (gr)$	θ_3
۱	۱۰۰		۱۰۰		۱۰۰	
۲		۶۰	۱۰۰		۱۰۰	
۳		۶۰	۵۰		۱۵۰	
۴		۹۰	۵۰		۱۰۰	

نتایج تئوری						
حالت	$m_1 (gr)$	θ_1	$m_2 (gr)$	θ_2	$m_3 (gr)$	θ_3
۱	۱۰۰		۱۰۰		۱۰۰	
۲		۶۰	۱۰۰		۱۰۰	
۳		۶۰	۵۰		۱۵۰	
۴		۹۰	۵۰		۱۰۰	

۷- با استفاده از فرمول (۵) مقادیر مجهول در حالت‌های ۱ و ۲ را به دست آورده و با نتایجی که به صورت تجربی به دست آورده‌اید، مقایسه کرده و درصد اختلاف را به دست آورید.

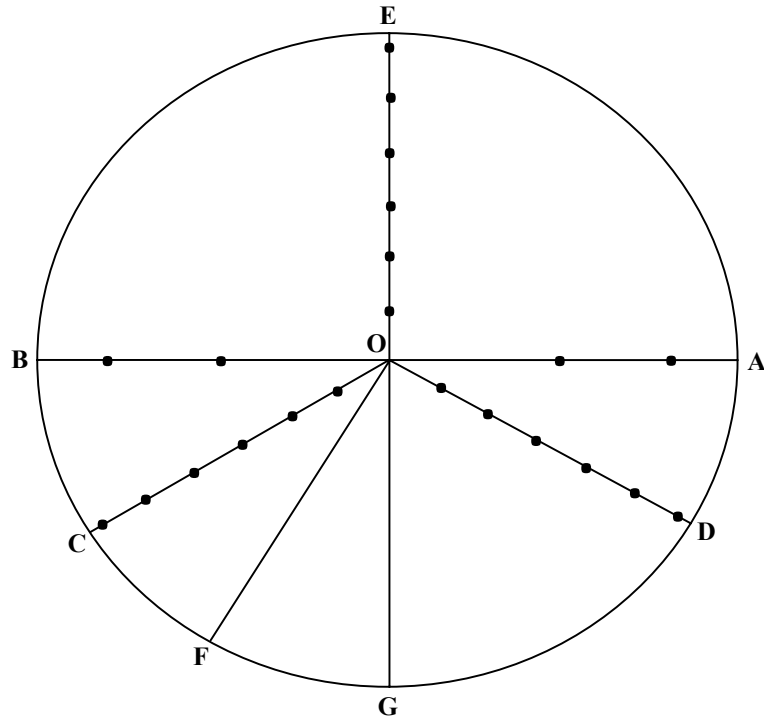
درصد اختلاف (%)			
حالت	برای m_1	برای θ_2	برای θ_3
۲			
۳			
۴			

۸- با استفاده از روش تجزیه‌ی برداری مقادیر مجهول در حالت‌های ۳ و ۴ را به دست آورده و با نتایجی که به صورت تجربی به دست آورده‌اید مقایسه کرده و درصد اختلاف را به دست آورید.

۹- برای به دست آوردن نتایج دقیق‌تر، بهتر است وزنه‌های معلوم را نیز با ترازو وزن کنید و مقادیر به دست آمده را ملاک قرار دهید. چون مثلاً وزنه‌ی ۱۰۰ گرمی همراه با دسته‌ی خودش ۱۰۰ گرم است و این در حالی است که دسته‌ها متفاوت هستند.

آزمایش دوم: بررسی برآیند گشتاور نیروها

برای بررسی برآیند گشتاورهای حاصل از نیروهای وارد به یک جسم از یک دیسک سوراخ دار استفاده می‌کنیم. این دیسک به صورت عمودی قرار دارد و می‌تواند حول محور افقی گذرنده از نقطه‌ی O واقع در مرکز دیسک حرکت دورانی انجام دهد. برای قرار دادن وزنه روی دیسک، در نقاط مختلف آن سوراخ‌هایی تعبیه شده است که در راستای شعاع و به فواصل مختلفی نسبت به مرکز O قرار دارند. این شعاع‌ها با اندیس‌های A, B, C, D, E, F و G نشان داده شده‌اند.



حالت	$r (cm)$	$m (gr)$	$r (cm)$	$m (gr)$ تجربی	$m (gr)$ تنوری	درصد اختلاف (%)
۱	$r_A = 10$	$m_A = 100$	$r_B = 6$	$m_B =$	$m_B =$	
۲	$r_D = 10$	$m_D = 100$	$r_C = 10$	$m_C =$	$m_C =$	
۳	$r_D = 10$	$m_D = 100$	$r_C = 8$	$m_C =$	$m_C =$	
۴	$r_D = 12$	$m_D = 100$	$r_C = 8$	$m_C =$	$m_C =$	

r_B و r_A می‌توانند برابر با ۶ یا ۱۰ سانتی‌متر و r_C ، r_D و r_E می‌توانند برابر با ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ یا ۱۲ سانتی‌متر انتخاب شوند، که در هر حالت پایه‌ی مربوط به وزنه‌ها را در آن موقعیت قرار می‌دهیم. همچنین خط oF عمود بر راستای oD و خط oG نیز عمود بر راستای oA رسم شده‌اند تا به عنوان معیاری برای حالت تعادل دیسک مورد استفاده قرار گیرند.

روش انجام آزمایش دوم:

۱- مطابق جدول و با معلوم بودن مقادیر r ، پایه‌ها را در محل تعیین شده نصب و وزنه‌ی معلوم را بر روی پایه‌ی خودش قرار دهید.

۲- وزنه‌ی مجهول را به گونه‌ای انتخاب کنید که راستای وزنه‌ی معلوم با r مربوط به وزنه‌ی معلوم زاویه‌ی ۹۰ درجه بسازد. برای این منظور از راستای شاغول و خطوط oF و oG رسم شده بر روی دیسک کمک بگیرید.

۳- با بررسی گشتاور نیروهای وارد بر جسم و مساوی قرار دادن دو گشتاور، جرم مجهول را از راه تئوری به دست آورده و با مقداری که از طریق تجربی به دست آورده‌اید، مقایسه کنید و درصد اختلاف را به دست آورید.

۴- این کار را برای همه‌ی حالت‌های مندرج در جدول انجام دهید.

سؤالات

۱- فرمول (۵) را اثبات کنید؟

۲- در این آزمایش چه عواملی باعث ایجاد خطا در نتایج تجربی می‌شوند؟

۳- تعریف کمیت‌های برداری و نرده‌ای چیست؟ برای هر کدام چند مثال بزنید.