

آزمایشگاه فیزیک

مدت آزمون ۱۲۰ دقیقه

آزمون آزمایشگاه

موضوع آزمایش: اصطکاک هوا

هدف آزمایش: بررسی مقاومت هوا در مقابل سقوط یک توپ پلاستیکی سبک

وسایل آزمایش:

۲ عدد دیسک به عنوان قرقره - توپ پلاستیکی به جرم ۶۰ گرم با خطای ۵٪ - ۲ عدد وزنه‌ی ۱۰۰ گرمی بدون خطا
 ۱۰ عدد مهره ۱۰ گرمی، ۲۰ عدد مهره ۴.۶ گرمی، ۱۰ عدد مهره‌ی ۲ و ۱ گرمی همگی بدون خطا - ۲ عدد مفتول ۱۰ گرمی
 بدون خطا - میله آلومینیومی برای اندازه‌گیری ارتفاع وزنه (H) - کرنومتر - خط‌کش - گیره و پایه - نخ متر - کولیس -
 کاغذ نمودار

مقدمه:

می‌دانیم اگر یک جسم در هوا سقوط آزاد نماید نیروی مقاومت هوا به آن وارد می‌شود که متناسب با سرعت جسم است. ضریب تناسب به شکل و مساحت مقطع موثر جسم بستگی دارد. اگر سرعت جسم کم باشد نیروی مقاومت با توان ۱ سرعت و اگر سرعت زیاد شود، نیروی مقاومت با توان ۲ سرعت متناسب خواهد شد. هدف ما در این آزمایش تحقیق رابطه مقاومت هوا و به دست آوردن ضریب تناسب نیروی اصطکاک برای هوا می‌باشد.

شرح وسیله‌ی آزمایش:

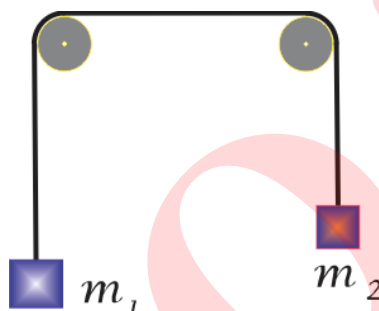
از آنجایی که زمان سقوط یک جسم از ارتفاع‌های پایین، کم می‌باشد، نمی‌توان این زمان را به راحتی برای جسم‌های مختلف اندازه‌گیری و تحلیل کرد. وسیله‌ای که در این آزمایش استفاده می‌شود، مطابق شکل از ۲ دیسک آهنی (مشکی) و آلومینیومی تشکیل شده است که لختی دورانی دیسک آهنی خیلی بزرگ‌تر از لختی دورانی دیسک آلومینیومی می‌باشد.

هرگاه توپ را بعلاوه‌ی مقداری وزنه به یک سر نخ (m_1 با جرم مجموع m_1) و به سر دیگر نخ مقداری وزنه به جرم m_2 وصل کنیم، ($m_1 > m_2$) و نخ را از روی دیسک‌ها عبور دهیم، می‌توانیم سقوط توپ را بررسی کنیم و با انتخاب مقادیر مختلف m_1 و m_2 سرعت توپ را کم یا زیاد کنیم.

تئوری آزمایش:

با در نظر گرفتن اصطکاک هوا برای توپ و صرف نظر کردن اصطکاک هوا برای مهره‌ها (با سطح مقطع کوچک) و اصطکاک دیسک‌ها می‌توان با استفاده از قوانین نیوتن روابط زیر را می‌توان نوشت:

$$\begin{cases} T_1 - m_1 g + f = m_1 a_1 \\ T_2 - m_2 g = m_2 a_2 \\ (T - T_1)R = I \frac{a_1}{R} \\ (T - T_2)r = I \frac{a_2}{r} \\ a_2 = -a_1 = a \end{cases}$$



در معادلات فوق:

m_1 : جرم جسم سمت چپ (توپ و مهره‌ها)

m_2 : جرم جسم سمت راست (مهره‌ها)

a : اندازه شتاب جسم‌ها

I : لختی دورانی دیسک آهنی

i : لختی دورانی دیسک آلومینیومی

R : شعاع دیسک آهنی

r : شعاع دیسک آلومینیومی

f : نیروی اصطکاک

با حل معادلات بالا به معادله‌ی زیر می‌رسیم:

$$(m_1 - m_2)g - f - (m_1 + m_2)a = \left(\frac{I}{R^2} + \frac{i}{r^2}\right)a \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

نیروی اصطکاک را می‌توان برای اجسام با سرعت کم به صورت $f = k'v$ و برای اجسام با سرعت زیاد به صورت $f = kv^2$ در نظر گرفت که k و k' همان ضرایب تناسب نیروی اصطکاک هوا هستند. با حل رابطه (۱) و صرف نظر از لختی دورانی دیسک آلومینیومی با در نظر گرفتن حالتی که نیروی مقاومت هوا به صورت $f = kv^2$ است، برای سقوط جسم از ارتفاع H مدت زمان سقوط به صورت زیر بدست می‌آید:

$$t = \left(\frac{v_t}{g}\right) \left(\frac{m_1 + m_2 + \frac{I}{R^2}}{m_1 - m_2}\right) \cosh^{-1} \left[e^{\frac{\left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2 + \frac{I}{R^2}}\right) g H}{v_t^2}} \right] \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

$$V_t^2 = \frac{(m_1 - m_2)g}{k}$$

با بسط رابطه‌ی (۲) بر حسب k و با فرض کوچک بودن آن می‌توان زمان سقوط توپ را به صورت زیر ساده کرد:

$$t(H) = \sqrt{\frac{2(m_1+m_2+\frac{I}{R^2})H}{(m_1-m_2)g}} \left(1 + \frac{kH}{6(m_1+m_2+\frac{I}{R^2})}\right) \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

در سقوط جسم در هوا مقاومت هوا به صورت $f = k'v$ نیز می‌توان نوشت. اما باید توجه کنیم که این رابطه برای سرعت‌های کم قابل استفاده است و با افزایش سرعت رابطه‌ی $f = kv^2$ قابل قبول‌تر می‌باشد، پس باید توجه کنیم که در محدوده‌ی مناسب سرعت از رابطه (۳) استفاده کنیم. منظور ناحیه‌ای است که رابطه‌ی نیروی مقاومت هوا به صورت $f = kv^2$ می‌باشد.



توجه مهم:

- * همه‌ی محاسبات مربوط به نمودار (محاسبه‌ی شیب، عرض از مبدا و خطاهای آن‌ها) را هم با ماشین حساب و هم با استفاده از خطوط خطا انجام دهید. ولی در محاسبه‌ی عدد نهایی فقط از اعداد بدست آمده از ماشین حساب استفاده نمایید.
- * شتاب گرانش را $9.81 \frac{m}{s^2}$ و عدد π را ۳.۱۴ و هر دو را بدون خطا در نظر بگیرید.
- * در صورتی که در هر قسمت از آزمایش نیاز به توضیح اضافی داشتید می‌توانید از قسمت سفید پشت صفحات پاسخنامه و یا فضای خالی در انتهای هر قسمت استفاده کنید.
- * نوشتن واحد فراموش نشود.

بخش اول:

اگر یک دیسک با جرم m و شعاع R داشته باشیم که محور چرخش آن همان محور اصلی که از مرکز دیسک می‌گذرد باشد، لختی دورانی آن از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$I = \frac{1}{2} m R^2 \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

دقت کنید اگر دیسک توخالی با شعاع داخلی R' باشد، لختی دورانی از کسر کردن لختی دیسک با شعاع R' از لختی کل (دیسک با شعاع R) بدست می‌آید. با توجه به رابطه‌ی (۴)، رابطه‌ای برای لختی دورانی یک دیسک توخالی آلومینیومی به شعاع داخلی r' ، شعاع خارجی r و ضخامت d و یک دیسک توخالی آهنی به شعاع داخلی R' ، شعاع خارجی R و ضخامت D بیابید. لختی دورانی دیسک آلومینیومی را I و لختی دورانی دیسک آهنی را I' می‌نامیم. رابطه‌ی خطای لختی دورانی هر دو دیسک (ΔI و $\Delta I'$) را نیز بدست آورید. همچنین در نهایت با استفاده از اعداد ارائه شده، مقدار لختی دورانی دیسک‌ها را محاسبه کرده و پس از آن نسبت لختی دورانی‌ها و خطای نسبت آن‌ها را بدست بیاورید.

$$\text{چگالی آهن } 7800 \frac{Kg}{m^3} \text{ و چگالی آلومینیوم } 2700 \frac{Kg}{m^3} \text{ و بدون خطا می‌باشد.}$$

بخش دوم:

مطابق شکل آزمایش، ۲ قرقره توسط گیره و پایه به صندلی متصل شده و روی میز می‌باشند. در طول آزمایش جرم-های m_1 و m_2 را با استفاده از توپ، ۲ عدد وزنه‌ی ۱۰۰ گرمی، ۱۰ عدد مهره بزرگ ۱۰ گرمی، تعداد ۲۰ عدد مهره کوچکتر ۴.۶ گرمی، ۱۰ عدد جرم ۱ و ۲ گرمی و ۲ مفتول ۱۰ گرمی طوری درست می‌کنیم که m_1 و m_2 تغییر کند، ولی $m_1 + m_2$ همواره ثابت بماند. برای اینکار ابتدا m_1 را مجموع جرم توپ، مفتول آهنی، ۱ عدد وزنه‌ی ۱۰۰ گرمی، ۲ عدد مهره‌ی ۱۰ گرمی، ۱۰ عدد مهره‌ی ۴.۶ گرمی و تعدادی وزنه‌ی ۱ و ۲ گرمی و m_2 را مجموع جرم مفتول آهنی، ۱ عدد وزنه‌ی ۱۰۰ گرمی، ۸ عدد مهره‌ی ۱۰ گرمی، ۱۰ عدد مهره‌ی ۴.۶ گرمی و تعدادی مهره‌ی ۱ و ۲ گرمی انتخاب می‌کنیم به طوری که در ابتدا دو طرف در حال تعادل باشند. (اینکار را می‌توانید با جابه‌جا کردن مهره‌های ۱ و ۲ گرمی بین دو طرف m_1 و m_2 انجام داد. نیازی نیست حتماً از جرم‌های گفته شده استفاده شود، می‌توان هر مقداری را به دو طرف اضافه یا کم کرد، اما بهتر است از تمامی جرم‌ها استفاده شود تا مقدار $m_1 + m_2$ بیشترین مقدار خود را داشته باشد تا روی قرقره لیز نخورد و دقت آزمایش بیشتر باشد. جرم کل استفاده شده در پاسخنامه وارد شده است.) حال با کم کردن مهره‌های ۱ گرمی از طرف جرم m_2 و اضافه کردن آن‌ها به طرف جرم m_1 مدت زمان سقوط جرم m_1 را برای یک H ثابت و معین که در بازه ۷۰ تا ۱۵۰ سانتیمتر انتخاب شده، اندازه‌گیری شده و در پاسخنامه و جدول شماره ۱ وارد شده است. (در طول مدت آزمایش H ثابت و مقدار آن در پاسخنامه گزارش شده است) در ادامه دوباره یک مهره‌ی دیگر از m_2 کم و به m_1 اضافه کرده و داده‌گیری را ادامه می‌دهیم. اندازه‌گیری زمان سقوط را حداقل برای ۱۵ مقدار مختلف جرمی انجام داده و در جدول وارد می‌نماییم. در انتقال مهره‌ها دقت می‌کنیم اینکار را طوری انجام دهیم که سقوط توپ با سرعت زیاد انجام شود.

نمودار زمان سقوط (t) را بر حسب $\sqrt{\frac{(m_1+m_2+\frac{I}{R^2})}{(m_1-m_2)}}$ در کاغذ نمودار میلی‌متری رسم نمایید. (اعداد نمودار طوری انتخاب

شده‌اند که آزمایش در ناحیه‌ی خطی که در رابطه‌ی (۳) صدق می‌کند، باشد. یعنی ناحیه‌ای که می‌توان نیروی مقاومت هوا را به صورت $f = kv^2$ در نظر گرفت.) با رسم نمودار خطی و با استفاده از محاسبات مناسب، مقدار k را بدست بیاورید. از لختی دورانی که از قسمت قبلی بدست آوردید، استفاده کنید.

*مقدار $m_1 + m_2$ در پاسخنامه گزارش شده است.

*عوامل خطا را گزارش کنید.

مدت آزمون ۱۲۰ دقیقه

آزمایشگاه فیزیک

بخش اول:

- شعاع داخلی و خارجی و ضخامت دیسک‌ها:

دیسک آلومینیومی:

$$r' = 0.599 \pm 0.001 \text{ cm} \text{ (شعاع داخلی)}$$

$$r = 1.437 \pm 0.001 \text{ cm} \text{ (شعاع خارجی)}$$

$$d = 0.488 \pm 0.002 \text{ cm} \text{ (ضخامت)}$$

دیسک آهنی:

$$R' = 1.074 \pm 0.001 \text{ cm} \text{ (شعاع داخلی)}$$

$$R = 2.258 \pm 0.001 \text{ cm} \text{ (شعاع خارجی)}$$

$$D = 0.736 \pm 0.002 \text{ cm} \text{ (ضخامت)}$$

- رابطه‌ی لختی دورانی‌ها:

دیسک آلومینیومی:

$$i =$$

$$\Delta i =$$

دیسک آهنی:

$$I =$$

$$\Delta I =$$

- مقدار لختی دورانی‌ها:

دیسک آلومینیومی:

$$i =$$

$$\Delta i =$$

دیسک آهنی:

$$I =$$

$$\Delta I =$$

- نسبت لختی دورانی‌ها:

رابطه‌ی خطای نسبت لختی دورانی‌ها:

$$\Delta\left(\frac{i}{I}\right) =$$

مقدار نسبت لختی دورانی‌ها و خطای آن :

$$\frac{i}{I} =$$

$$\Delta\left(\frac{i}{I}\right) =$$

IranPhO.ir

بخش دوم:

$$m_1 + m_2 = 492 \pm 1 \text{ g}$$

$$H = 93.0 \pm 0.1 \text{ cm}$$

$$M = m_1 + m_2 + \frac{I}{R^2} =$$

- فرمول خطا:

$$\Delta \left(\frac{M}{(m_1 - m_2)} \right) =$$

- جدول ۱:

$m_1 \pm 0.001(Kg)$	$m_2 \pm 0.001(Kg)$	$t_1 \pm 0.01(s)$	$t_2 \pm 0.01(s)$	$t_3 \pm 0.01(s)$	$\bar{t}(s)$	$\Delta\bar{t}(s)$	$\frac{M}{(m_1 - m_2)}$	$\Delta(\frac{M}{(m_1 - m_2)})$
0.265	0.227	1.68	1.72	1.75				
0.264	0.228	1.78	1.75	1.75				
0.263	0.229	1.81	1.81	1.84				
0.262	0.230	1.91	1.88	1.88				
0.261	0.231	1.97	1.94	2.00				
0.260	0.232	2.06	2.03	2.06				
0.259	0.233	2.18	2.19	2.18				
0.258	0.234	2.22	2.21	2.22				
0.256	0.236	2.35	2.39	2.37				
0.255	0.237	2.47	2.50	2.50				
0.254	0.238	2.77	2.72	2.79				
0.253	0.239	2.94	2.94	2.90				
0.252	0.240	3.31	3.35	3.37				
0.251	0.241	3.66	3.68	3.64				
0.249	0.243	4.84	4.81	4.89				

 $r =$ $b =$ $a =$ $\Delta b =$ $\Delta a =$

رابطه‌ی k و Δk :

$$k =$$

$$\Delta k =$$

$$k =$$

$$\Delta k =$$

مقدار k و Δk :

- محاسبات:

- عوامل خطا: