آزمایش شماره ۳

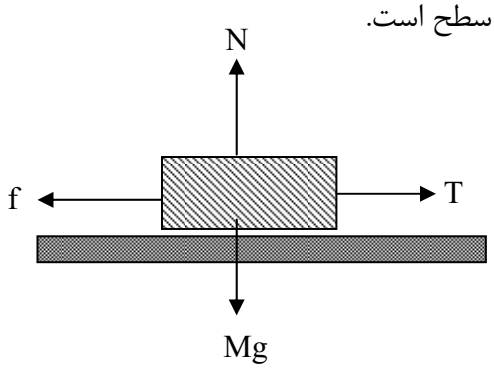
اصطکاک

وقتی جسمی بر روی جسم دیگر می‌لغزد نیروی مقاومی در سطح تماس دو جسم، در خلاف جهت لغزش پدید می‌آید که آن را نیروی اصطکاک می‌نامند. این نیرو در اثر ناهمواری‌های بسیار کوچک موجود در سطوح تماس پدید می‌آید. وجود نیروی اصطکاک در بعضی موارد بسیار لازم و ضروری می‌باشد؛ از جمله هنگام راه‌رفتن، پیچیدن اتومبیل‌ها در جاده‌ها، برای متوقف کردن حرکت و ... . ولی در بعضی موارد اصطکاک یک نیروی مزاحم است؛ چرا که سبب اتلاف انرژی و کم شدن بازده کار می‌گردد. لذا در این موارد باید اصطکاک را کوچک و یا حذف کرد. پس این نیرو را باید شناخت.
هدف آزمایش: مطالعهٔ قوانین حاکم بر نیروی اصطکاک و اندازه‌گیری ضریب اصطکاک بین دو سطح با روش‌های مختلف.

نظریه

وقتی جسمی را به طور افقی به وسیله یک ریسمان بدون جرم بکشیم نیروهایی مطابق شکل (۱) به جسم وارد می‌شوند که در آن T نیروی کشش ریسمان، f نیروی اصطکاک، Mg نیروی وزن و N نیروی عکس‌العمل عمودی سطح است.

.



شکل ۱ - جسم روی سطح افقی

واضح است که چون جسم در امتداد عمودی شتابی ندارد $Mg=N$. حال اگر T بزرگتر از یک مقدار معینی باشد، جسم در امتداد افق شتاب خواهد گرفت. در این حالت نیروی اصطکاک (جنبشی، f_k) مقدار ثابتی خواهد داشت. اگر T به گونه‌ای باشد که جسم حرکت بدون شتاب، یعنی با سرعت ثابت انجام دهد، در این صورت $T=f_k$ خواهد بود و لذا می‌توان با اندازه‌گیری نیرویی که در حرکت بدون شتاب به جسم وارد می‌شود، مقدار نیروی اصطکاک جنبشی را اندازه گرفت.
اگر به جسم نیروی کششی وارد شود ولی جسم در حال سکون باشد و حرکتی را آغاز نکرده باشد، نیروی اصطکاک آنرا ایستایی می‌نامند. در این حالت نیروی اصطکاک ایستایی، تابع T است و با بزرگ شدن T افزایش می‌یابد و به تدریج به مقدار بیشینهٔ خود که با f_{smax} نشان می‌دهند، می‌رسد. در این حالت افزایش بیشتر T موجب خواهد شد که جسم از حال سکون خارج شده و حرکت کند.

آزمایش نشان می‌دهد که همیشه f_k کوچکتر از f_{smax}، بیشینهٔ **نیروی اصطکاک ایستایی**، است. همچنین آزمایش نشان داده است که مقادیر f_k و f_s متناسب با نیروی عمود بر سطح دو جسم هستند.

لذا می‌توان روابط زیر را نوشت:

$$f_k = \mu_k N \quad , \quad f_s = \mu_s N$$

در این روابط μ_s و μ_k به ترتیب ضریب اصطکاک ایستایی و ضریب اصطکاک جنبشی نامیده می‌شوند که $\mu_s > \mu_k$ است.

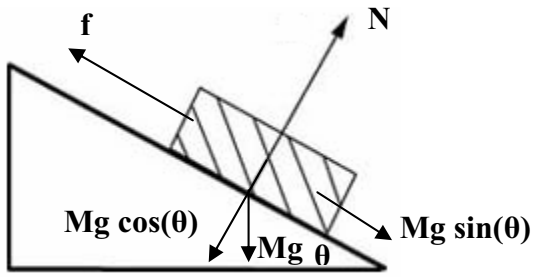
به طور کلی قوانین حاکم بر نیروی اصطکاک را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

۱- نیروی اصطکاک متناسب با نیروی عمود بر سطح دو جسم است

۲- ضریب اصطکاک مستقل از مساحت سطح لغزنده است

۳- ضریب اصطکاک مستقل از سرعت جسم لغزنده است

۴- ضریب اصطکاک با جنس و کیفیت سطوح تماس، رابطه دارد.



شکل ۲ - جسم روی سطح شیب دار

در شکل (۲)، وقتی جسم در آستانه حرکت است داریم:

$$Mg\sin\theta_s - f_s = 0 \;\rightarrow\; f_s = Mg\sin\theta_s \qquad (۱)$$

$$N - Mg\cos\theta_s = 0 \rightarrow N = Mg\cos\theta_S \qquad (۲)$$

از طرف دیگر طبق تعریف برای بیشینهٔ f_s (آستانهٔ لغزش) می‌توان نوشت، $f_s = \mu_s N$ (از این به بعد منظور از f_s همان مقدار بیشینهٔ آن می‌باشد که در آزمایشگاه اندازه‌گیری می‌کنیم) با جایگزین کردن N از رابطهٔ (۲) خواهیم داشت،

$$f_s = \mu_S\, Mg\cos\theta_S \qquad (۳)$$

بنابراین با جایگزینی در رابطه (۱) داریم،

$$\mu_s\, M\, g\cos\theta_s = Mg\sin\theta_s$$

$$\mu_s = \tan\theta_s \qquad (۴)$$

حال اگر جسم در اثر نیروی وزنش با سرعت ثابت روی سطح به پایین بلغزد، به طور مشابه برای ضریب اصطکاک لغزشی خواهیم داشت:

$$\mu_k = \tan\theta_k \qquad (۵)$$

مراحل انجام آزمایش

ابزار مورد نیاز

۱- سطح شیب‌دار با زاویهٔ شیب قابل تنظیم ۲- برهٔ فلزی با جنس سطوح متفاوت ۳- منبع تغذیه ۵ ولتی ۴- جاوزنه‌ای ۵- وزنه‌های کوچک و بزرگ.

برای آشنایی اولیه با روش انجام آزمایش به سایت آزمایشگاه مراجعه نموده و مراحل انجام آزمایش را در گزارش تصویری مشاهده نمایید. http://physics.sharif.edu/genphyslabs1/002.htm

۱- اندازه‌گیری ضریب اصطکاک جنبشی بین دو جسم در حالت افقی

یک بره با جنس سطوح متفاوت در اختیار شما قرار دارد. ابتدا سعی کنید سطوح را تمیز و سطح شیب‌دار را کاملاً افقی کنید.

سعی کنید تمام آزمایش‌ها را در یک محدوده معین از سطح بره انجام دهید. زیرا ممکن است در قسمت‌های مختلف سطح، اصطکاک‌ها متفاوت باشند. حال بره را از طرف سطح آلومینیومی، روی سطح چوبی روکش شده قرار دهید. سپس با قرار دادن وزنه‌های معین بر روی آن، برای حرکت یکنواخت قطعه نیروی کشش نخ را بر حسب نیوتن بدست آورید.

برای این‌کار طبق جدول ۱ وزنه‌های ذکر شده را روی بره قرار دهید. سپس به جاوزنه‌ای که از طریق نخی به قطعه چوبی وصل شده است آنقدر وزنه اضافه کنید تا با زدن ضربه‌های کوچک با چکش پلاستیکی به سطح، بره با سرعت یکنواخت شروع به حرکت کند. در این حالت اندازه نیروی کشش نخ را که برابر است با وزن وزنهٔ اضافه شده به جاوزنی بعلاوهٔ وزن جاوزنه‌ای در جدول ۱ یادداشت کنید. در این آزمایش از جرم نخ و اصطکاک قرقره صرف نظر شده است. وقتی برای تمام وزنه‌های خواسته شده این کار را انجام دادید، تخته را برگردانده و سطح بره را این بار روی سطح چوبی بدون روکش قرار دهید و آزمایش را تکرار کنید. جدول ۱ را کامل کنید. وزن بره را نیز با ترازو اندازه گرفته و یادداشت نمایید.

۲- اندازه‌گیری ضریب اصطکاک از طریق شیب دادن سطح

برای انجام آزمایش ابتدا به نکات زیر توجه کنید:

۱. برای تغییر شیب سطح از کلید دو وضعیتی که در کنار پایه اصلی نصب شده استفاده نمایید. با تغییر جهت کلید، شیب سطح کم و یا زیاد می شود.
۲. برای خواندن زاویه از نقاله ای که کنار سطح شیب دار نصب شده استفاده نمایید.
۳. برای وارد کردن ضربه‌های آهسته به سطح برای انجام آزمایش‌های مربوط به ضریب اصطکاک جنبشی از چکش پلاستیکی استفاده شود.
۴. قبل از انجام آزمایش منبع تغذیهٔ موتور سطح شیب دار را به دستگاه وصل کرده و آن را روشن کنید.
۵. دقت کنید در حین انجام آزمایش بره از روی سطح شیب دار خارج نشود.

۶. از قرار دادن اشیاء دیگر، علامت گذاشتن و لمس کردن سطح قطعه چوبی، خودداری شود.

الف) **اندازه‌گیری** μ_k : برهٔ را روی سطح شیب‌دار قرار دهید و کفه را از آن جدا کنید. سطح بره را روی سطح چوبی بدون روکش گذاشته به آرامی شیب سطح (θ_k)را زیاد کنید تا جایی که با زدن ضربه‌های کوچک به سطح، بره با سرعت یکنواخت شروع به حرکت کند. در این حالت زاویه شیب سطح را از روی دستگاه خوانده و در جدول ۲ یادداشت کنید. حداقل ۳ بار آزمایش را تکرار کنید. در این حالت طوری شیب را تنظیم کنید که حرکت یکنواخت و یا با شتاب بسیار کم باشد.

ب)**اندازه‌گیری** μ_s : دوباره سطح را به حالت افقی برگردانید. سطح فلزی بره را روی قطعه چوبی بدون روکش گذاشته به آرامی سطح را آنقدر شیب دهید تا بدون ضربه زدن به سطح، بره شروع به حرکت کند. این کار را نیز ۳ بار انجام دهید و داده‌ها را در جدول ۲ یادداشت کنید.

ج) مراحل (الف) و (ب) را برای سطح چوبی روکش شده تکرار کرده و جدول ۲ را کامل کنید.

۳- بررسی تغییر نیروی اصطکاک با تغییر مساحت سطح تماس

برهٔ را روی سطح شیب‌دار چوبی بدون روکش قرار داده و قطعه چوبی را، یک بار از طرف سطح فلزی با مساحت بیشتر و بار دیگر از طرف سطح فلزی با مساحت کمتر روی آن قرار دهید. با شیب دادن سطح، زاویهٔ شیب را برای دو حالت ایستایی و لغزشی، در هر مرحله بدست آورید. هر مرحله را ۳ بار انجام داده، داده‌ها را در جدول شمارهٔ ۳ یادداشت کنید.

۴- اندازه‌گیری ضریب اصطکاک از طریق تغییر شیب سطح

ابتدا سطح شیب‌دار را به حالت افقی درآورید. بره را روی سطح چوبی روکش دار قرار دهید. کشش نخ را طوری تنظیم کنید که با زدن چند ضربه به سطح شیب دار بره به طور یکنواخت حرکت کند. مجموع وزن جاوزنه‌ای و وزنه‌ها را در جدول ۴ یادداشت کنید. حال شیب سطح را زیاد کنید تا با زدن ضربه به سطح وزنه‌ها در جهت مخالف حرکت کنند. زاویه سطح شیب‌دار را در جدول ۴ یادداشت کنید. این آزمایش را ۳ بار تکرار کنید. در این حالت طوری شیب را تنظیم کنید که حرکت یکنواخت و یا با شتاب بسیار کم باشد.

حال بدون ضربه زدن به سطح، آزمایش را انجام داده و نتایج را جدول ۴ وارد کنید.

خواسته‌ها

تحلیل داده‌های جدول ۱:

الف) منحنی تغییرات نیروی کشش نخ را بر حسب وزنه‌های اضافه شده به بره، در یک کاغذی میلی‌متری برای سطح شیب دار چوبی و روکش‌دار رسم کنید. اکنون معادلهٔ خط و با استفاده از آن ضریب اصطکاک مربوط به هر حالت را از روی منحنی بدست آورید. هر دو منحنی را در یک کاغذ میلی‌متری ولی با رنگ‌های مختلف رسم کنید.

ب) جرم بره را بدون آنکه وزن کنید از طریق امتداد هر یک از منحنی‌ها و تقاطع آنها با محورهای مختصات بدست آورید (m_{c1} و m_{c2}). رابطه ریاضی آن را بنویسید. چون خطاهایی در آزمایش وجود دارد به احتمال زیاد این دو جواب یکی نخواهد بود بنابراین برای تقریب بهتر جرم بره را میانگین این دو جرم در نظر بگیرید (m_c).

ج) جرم بدست آمده از طریق منحنی و جرم اندازه‌گیری شده به وسیله ترازو را با هم مقایسه کرده و درصد خطای نسبی (تفاوت نسبی) این دو مقدار را بدست آورید.

تحلیل داده‌های جدول ۲:

میانگین θ_k وθs رادر هر مرحله بدست آورید. با استفاده از رابطه‌های (۴) و (۵) ، μ_k و μ_s را محاسبه کنید. با استفاده از نتایج در مورد اثر جنس سطوح چه نتیجه‌ای می گیرید.

تحلیل داده‌های جدول ۳ :

میانگین θ_k وθs را در هر مرحله بدست آورید. با استفاده از رابطه‌های (۴) و (۵) ، μ_k و μ_s را محاسبه کنید. نتایج مربوط به سطح (۲) و (۳) را با هم مقایسه کرده و توضیح دهید که چرا انتظار می‌رود نتایج یکی شود؟ اگر اختلاف وجود دارد علت اختلاف را بیان کنید.

۵) ضرایب اصطکاک جنبشی و ایستایی را با استفاده از داده‌های جدول ۴ بدست آورده و نحوهٔ عملکرد آن روی سطح را با رسم کردن بردارهای نیرو، برای قبل و بعد از تغییر جهت حرکت، توضیح دهید.

سئوالات

۱) چرا ترمز کردن ناگهانی اتومبیل بر روی سطح آسفالت خیس عاقلانه نیست؟

۲) آیا نیروی اصطکاک ایستایی ثابت است؟

۳) یک خط‌کش یک متری را روی دو انگشت خود نگه دارید به طوری که یک انگشت در ۱۰ سانتیمتری و انگشت دیگر در ۷۰ سانتیمتری از وسط آن قرار گیرد. سعی کنید دو انگشت خود را به تدریج به یکدیگر نزدیک کنید. آزمایش را در حالتی که انگشت‌ها در نقاط مختلف خط‌کش باشند تکرار کنید و نتیجه را شرح دهید.

۴) چرا برای بدست آوردن ضریب اصطکاک جنبشی در آزمایش‌ها گفته شده است چند ضربه کوچک به سطح بزنید ولی در اندازه‌گیری ضریب اصطکاک ایستایی این کار را نباید بکنید؟

جدول‌های آزمایش شمارهٔ ۳
اصطکاک

جدول ۱- اندازه‌گیری ضریب اصطکاک جنبشی

وزنه‌های اضافه شده به بره	۲۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰
نیروی اصطکاک سطح و سطح روکش دار					
نیروی اصطکاک سطح بره و چوب					

m = جرم مکعب با ترازو

جدول ۲- اندازه‌گیری ضریب اصطکاک جنبشی و ایستایی

	بره و سطح چوبی			بره و سطح روکش دار		
θ_k						
θ_S						

جدول ۳- بررسی اثر تغییر مساحت تماس بر اصطکاک

	سطح وسیعتر بره و چوب			سطح با مساحت کمتر بره و چوب		
θ_k						
θ_S						

جدول۴- اندازه‌گیری ضریب اصطکاک جنبشی و ایستابی
با استفاده از تغییر شیب سطح حرکت وزنه‌ها به سمت بالا

	بره و چوب		
θ_k			
کشش			
θ_S			
کشش			