آزمایش شمارهٔ (۳)

اصطکاک

اهداف آزمایش

۱- بررسی و اندازه‌گیری ضریب اصطکاک جنبشی وایستایی بین دوسطح مختلف.

۲- بررسی و اندازه‌گیری ضریب اصطکاک بین ریسمان واستوانه چوبی ثابت

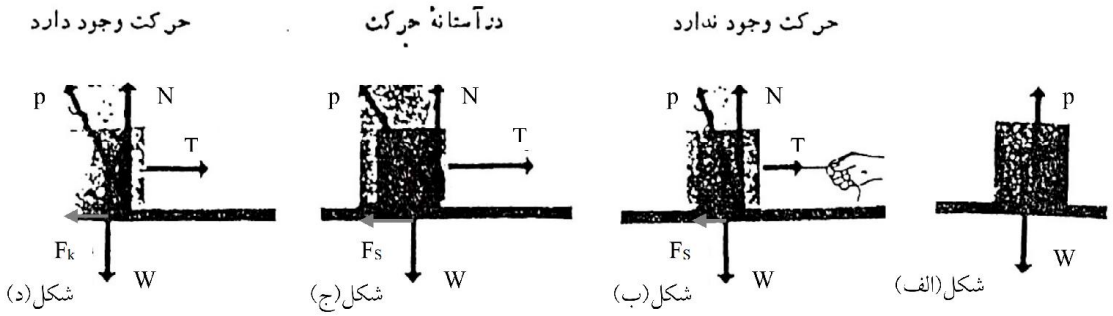
وسایل مورد نیاز

سطح متحرک ، ظرف‌های متصل‌به ریسمان ، وزنه های مختلف،قرقرهٔثابت ،استوانه چوبی ثابت.

تئوری آزمایش

هر گاه سطحی بخواهد بر روی سطح دیگری بلغزد هر یک از دو سطح بر سطح دیگر نیروئی وارد می‌کند که اولاً در امتداد سطح است . ثانیاً با حرکت دو سطح مخالفت می‌کند . این نیرو را اصطکاک می‌نامند. مثلاً اگر جسمی بر روی میزی بطرف چپ حرکت کند ، نیروی اصطکاک وارد بر آن بطرف راست است و در همین حال بر سطح میز نیروئی بطرف چپ وارد میشود. حتی وقتی جسم ساکن است ممکن است نیروی اصطکاک بر آن وارد شود. مثلاً اگر جسم سنگینی را روی زمین با نیروی کمی در امتداد افقی بکشیم نیرو برای به حرکت در آوردن جسم کافی نیست و جسم بحال سکون باقی می ماند. در این حال حتماً نیروئی مساوی و مخالف نیروی خارجی وارد بر جسم آنرا خنثی کرده است . این نیرو همان نیروی اصطکاک در حالت سکون است . مبدأ پیدایش نیروی ا صطکاک هنوز بدرستی معلوم نیست و یکی از زمینه های جالب تحقیق است وقتی یک صفحه بسیار صیقلی فلزی بر روی سطح مشابه حرکت می‌کند نیروی اصطکاک موجود را میتوان نتیجه جوش خوردگیهای موقت بین نقاط مختلف دو صفحه پنداشت چون بهرحال عده‌ای از نقاط دو سطح کمی بالاتر از سایر نقاط قرار گرفته و در همین نقاط دو سطح به یکدیگرجوش می‌خورند. این پدیده به این علت رخ می‌دهد که در نقاط تماس مولکولهائی که در دو سطح قراردارند بقدری به یکدیگر نزدیکند که نیروهای بین مولکولی شدیدی به یکدیگر وارد می‌کنند (نیروی اصطکاک). مقاومت‌اصطکاکی، ناشی از گسیختگی این جوش خوردگی های سطحی است که دائماً در اثر تماسهای

جدید تشکیل می‌شوند. اما بین دو قطعه آجر وضع کاملاً متفاوتی با فلز و یا شیشه وجود دارد. در شکل (الف) جسمی بحال سکون بر سطح افقی قرار دارد و نیروهای وارد بر آن عبارتند از (W) وزن جسم و p نیروی وارده از سطح بر آن ، امتداد نیروی های مذکور که در واقع بر هم منطبق اند در شکل کمی جابجا شده اند و تا نیروها متمایز دیده شوند.



فرض کنید مطابق شکل (ب) با طنابی جسم را با نیروی T در امتداد افقی بطرف راست بکشیم و نیروی T را بتدریج زیاد کنیم ، پیش از آنکه T بحد معینی برسد جسم بحال سکون بر روی سطح باقی می‌ماند . نیروی p وارده از سطح بر جسم بطرف چپ متمایل می‌شود. زیرا باید سه نیروی W,T, P در یک نقطه یکدیگر را قطع کنند. F_S مؤلفهٔ افقی p رانیروی اصطکاک حالت‌سکون (ایستایی) می‌نامند. مولفه دیگر p یعنی مولفه قائم آن Nنیروی قائم وارد از سطح بر جسم است . از شرایط تعادل می‌توان نتیجه گرفت:

$$\begin{cases} T = F_S \\ N = W \end{cases}$$

همین‌که نیروی T به حد ماکزیمی رسید F_S دیگر نمی تواند زیاد شود و تعادل جسم بهم خورده شروع به حرکت می‌کند . شکل (ب) وضعی از جسم را نشان میدهد که در آن T به مقدار بسیار ناچیزی کمتر از اندازه لازم برای به حرکت در آوردن جسم است . همین‌که T کمی از این مقدار زیادتر شد جسم شروع به حرکت می کند یعنی برای دو سطح با جنس معین F_S ازحد معینی نمی تواند تجاوز کند.ماکزیمم نیروی اصطکاک ایستایی تقریباً متناسب با N است بنابراین اندازهٔ واقعی نیروی اصطکاک ایستایی، بین صفر (وقتی نیروی T صفر است و جسم در امتداد سطح کشیده نمی شود) و N (در آستانه شروع حرکت) در μ_S (ضریب اصطکاک ایستایی) می‌باشد. یعنی: $F_S \leq \mu_S N$

طرفین فرمول فوق وقتی مساوی هم هستند که T دارای اندازه ای باشد که جسم را در آستانه حرکت قرار دهد (شکل (ج)رابینید). وقتی T کمتر از این مقدار باشد علامت در فرمول فوق نامساوی است و نیروی اصطکاک فقط با استفاده از شرط تعادل قابل محاسبه است.

همین‌که حرکت‌جسم شروع شد مشاهده می‌شود(شکل (د)رابینید) که نیروی اصطکاک کاهش می یابد. اندازه جدید نیروی اصطکاکF_k نیز برای دو سطح با جنس معین تقریباً متناسب با نیروی قائم وارد بر سطح است، بنابراین اندازهٔ واقعی نیروی اصطکاک جنبشی برابراست با $F_k = \mu_k N$

کهN (نیروی قائم وارد بر جسم در حال حرکت) μ_k(ضریب اصطکاک جنبشی) می‌باشد.

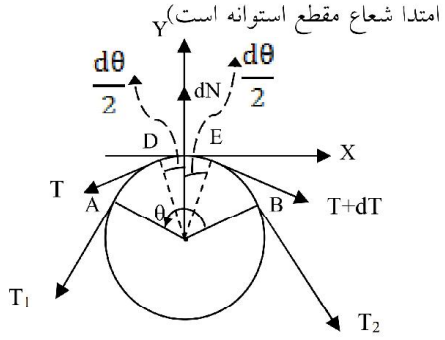
ضریب اصطکاک جنبشی و ایستایی جسم در درجه اول تابع جنس و طبیعت دو سطح است . هرگاه دو سطح زبر و خشن باشند اندازه ضریب اصطکاک بیشتر و هر چه صیقلی و صاف باشند کمتر است . اندازه ضریب اصطکاک تابع اندازه سطح اتکاء نیست.

- ضریب اصطکاک بین ریسمان واستوانه چوبی‌ثابت

شاید دیده باشید وقتی جسم سنگینی(T_2) را به انتهای ریسمانی بسته اند، برای مهارجسم ریسمان را چندین بار به دور جسمی‌دیگر (استوانه چوبی ثابت) می‌پیچند برای جلوگیری از لغزش ریسمان ، به انتهای دیگر ریسمان وزنه ای کوچک(T_1) وصل می‌کنند.حال رابطه T_1و T_2 را بدست می‌آوریم.

نخست تعادل جزء کوچکی از ریسمان مانند DE بررسی می‌شود(شکل‌زیررابینید). کشش ریسمان در نقطه D برابر T و در نقطه E برابر T+dT است . تفاوت کشش ریسمان در نقطه Dو E به سبب وجود لغزش بین ریسمان واستوانه است.dN مؤلفه عمودی واکنش استوانه بر ریسمان برای جزء کوچک DE است.

سه نیروی T,T+dT,dN را درراستای محورهای مختصات X وY تجزیه می‌کنیم (X مماس بر محور و Yدر امتدا شعاع مقطع استوانه است)



$$\begin{cases} Tx = -T\cos\left(\frac{d\theta}{2}\right) \\ (T+dT)_x = (T+dT)\cos\left(\frac{d\theta}{2}\right) \\ dN_x = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} Ty = -T\sin\left(\frac{d\theta}{2}\right) \\ (T+dT)y = -(T+dT)\sin\left(\frac{d\theta}{2}\right) \\ dNy = dN \end{cases}$$

$\Sigma F_y = 0$ است. بنابراین :

$$dN-(T+dT)\sin\left(\frac{d\theta}{2}\right)Ty-T\sin\left(\frac{d\theta}{2}\right)=0$$

$$dN=dT\sin\left(\frac{d\theta}{2}\right)Ty+2T\sin\left(\frac{d\theta}{2}\right) \qquad (۱)$$

چون $\left(\frac{d\theta}{2}\right)$کوچک است ازجمله $dT\sin\left(\frac{d\theta}{2}\right)$ به علت کوچکی در برابر سایر جمله‌ها صرف‌نظر می‌کنیم.

همچنین داریم:

$$\sin\left(\frac{d\theta}{2}\right)=\left(\frac{d\theta}{2}\right)$$

بنابراین با توجه به رابطه (۱)می‌توان نوشت:

$$dN=2T\left(\frac{d\theta}{2}\right) \qquad (۲)$$

حال باتوجه به تعریف ضریب اصطکاک داریم:

$$dT=\mu dN \qquad (۳)$$

ازروابط(۲و۳) می‌توان نتیجه گرفت :

$$\frac{dT}{T}=\mu d\theta$$

باتوجه به رابطهٔ فوق، برای تمام طول ریسمان از A تا B که با استوانه در تماس است،داریم:

$$\int_{T_1}^{T_2}\frac{dT}{T}=\int_0^{\theta}\mu d\theta=\mu\int_0^{\theta}d\theta$$

μرا ثابت فرض می‌کنیم. پس از انتگرال گیری می توان نوشت:

$$\ln\frac{T_2}{T_1}=\mu\theta\Rightarrow T_2=T_1e^{\mu\theta}$$

روش انجام آزمایش

الف) اندازه گیری ضریب اصطکاک جنبشی بااستفاده ازسطح افقی

سطح شیبدار را در حالت افقی قرار دهید.قطعه چوب را روی سطح قرارداده وظرف‌متصل به ریسمان به آن وصل کنیدسپس ریسمان را از شیار قرقرهٔ متصل به سطح عبوردهید(اصطکاک قرقره ناچیز است) . قرقره راطوری تنظیم کنید که ریسمان کاملاً با سطح افقی موازی شود. حال به ظرف وزنه اضافه کرده وضربات آرامی رابه سطح واردکنید تا قطعه چوب به آهستگی وبا سرعت‌یکنواخت روی سطح حرکت کند.

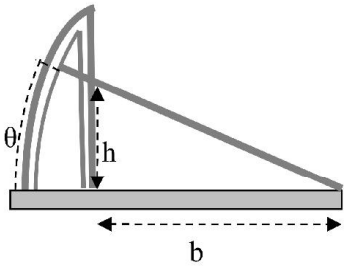
این‌آزمایش را با وزنه های مختلف که روی قطعه چوب قرار می‌دهید، تکرار کنید

(توجه: وزن‌ظرف رادرنظربگیرید.)و جدول زیرراکامل کنید.

شماره آزمایش	P_1 (وزن جسم)	P_2 (وزنه ها+وزن کاسه)	$\mu_k = \frac{P_2}{P_1}$	میانگین	محاسبه μ_k از نمودار	نتیجه گیری
۱						
۲						
۳						

ب) اندازه گیری ضریب اصطکاک جنبشی بااستفاده ازسطح‌شیبدار

مکعب چوبی را روی سطح شیبدار قرار داده و به تدریج زاویه سطح را زیاد کنید. در ضمن شیب دادن به سطح مرتباً به سطح ضربه های آرامی وارد کنیدتا قطعه چوب با یک با سرعت یکنواخت و ثابت روی سطح حرکت کند سپس زاویه سطح شیب دار را با سطح افقی وارتفاع را از روی دستگاه بخوانید واز رابطه $\mu_k = \frac{h_k}{b} = \tan\theta_k$ ضریب اصطکاک جنبشی را حساب کنید.



آزمایش را دو بار تکرار کرده وجدول زیر کامل کنید.

شماره آزمایش	θ_k	h_k	b	μ_{k1}	μ_{k2}	میانگین (1)	میانگین (2)	نتیجه‌گیری (مقایسه داده ها با قسمت الف)
۱			۲۵cm					
۲			۲۵cm					

ج) اندازه گیری ضریب اصطکاک ایستایی بااستفاده ازسطح‌شیبدار

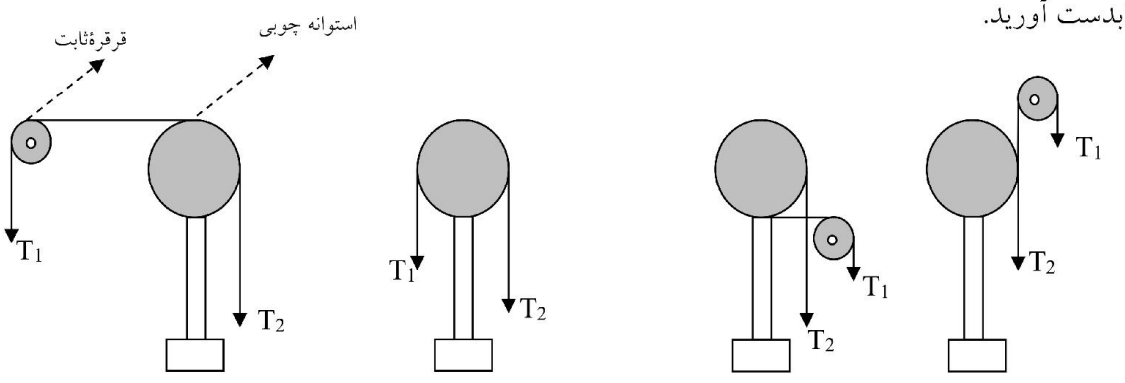
مکعب چوبی را روی سطح شیبدار قرار دهید و بتدریج زاویه سطح را زیاد کنید تا لحظه ای که جسم شروع به حرکت نماید (بدون زدن ضربه) سپس از روی سطح شیب دار زاویه حدسکون را بخوانید واز رابطهٔ $\mu_s = \frac{h_s}{b} = \tan\theta_s$ ضریب اصطکاک ایستایی را بدست آورید.

آزمایش را دو بار تکرار کرده نتایج بدست آمده را در جدول زیر بنوسید .

شماره آزمایش	θ_s	h_s	b	μ_{s1}	μ_{s2}	میانگین (1)	میانگین (2)	نتیجه گیری (مقایسه داده ها با قسمت ب)
۱			۲۵cm					
۲			۲۵cm					

د) اندازه گیری ضریب اصطکاک بین ریسمان واستوانه‌چوبی ثابت

مطابق شکل (۱) ریسمان رادرون شیاراستوانه چوبی قراردهید وزنه ای معین (T_1) را به ریسمان وصل کنیداین وزنه در طول آزمایش ثابت است .بااستفاده ازقرقرهٔ ثابت سطح تماس ریسمان بااستوانه چوبی تنظیم می کنید سپس در ظرف متصل به ریسمان آنقدر وزنه بگذارید تا ریسمان شروع به‌لغزش کند مقدار این وزنه را به اضافهٔ وزن ظرف(T_2)در جدول مربوطه یادداشت کنید. آزمایش را برای زاویای دیگر که سطح تماس ریسمان بااستوانه تغییرمی کندرا(اشکال ۲ و۳ و٤)، تکرار کرده و بااستفاده ازرابطهٔ $\mu = \frac{1}{\theta}\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$ μرابدست آورید.



$\theta = \frac{\pi}{2}$ شکل(۱) $\theta = \pi$ شکل(۲) $\theta = \frac{3\pi}{2}$ شکل(۳) $\theta = 2\pi$ شکل(٤)

شماره	θ	T_1	T_2	$\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$	μ	محاسبه μ ازنمودار	نتیجه‌گیری
۱	$\frac{\pi}{2}$						
۲	π						
۳	$\frac{3\pi}{2}$						
٤	2π						

سوالات

۱- نیروی اصطکاک به چه عواملی بستگی دارد؟

۲- رابطه $\mu_k = \frac{h_k}{b} = \tan\theta_k$ را اثبات کنید؟

۳- زاویه حد سکون را تعریف کنید؟

٤- آیانیروی اصطکاک را میتوان بطور کامل از بین برد ؟

۵- بنظر شما ضریب اصطکاک ایستایی (μ_s) بزرگتر است یا ضریب ا صطکاک جنبشی(μ_k) چرا ؟

٦- راه رفتن ما چگونه صورت می گیرد؟

۷- چرانیروی اصطکاک در غلتش کمتر از اصطکاک در لغزش است ؟

(جهت رسم نمودارهااز کاغذ میلی‌متری استفاده کنید)