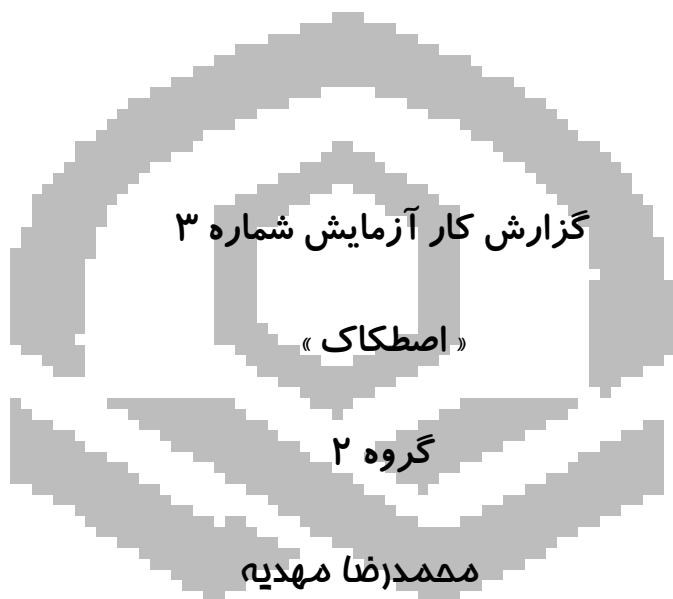


تقریر
بسمه تعالی

آزمایشگاه فیزیک پایه ۱



تاریخ آزمایش : ۱۳۹۰/۷/۲۴

تاریخ تحویل گزارش کار: ۱۳۹۰/۸/۱

استاد: آقای (روزبه ترکی

تئوری آزمایش

وقتی که جسمی می‌خواهد بر روی جسمی دیگر بلغزد، نیروی مقاومی در سطح تماس دو جسم در خلاف جهت حرکت پدید می‌آید که این نیرو از حرکت جسم جلوگیری می‌کند. این نیرو را نیروی اصطکاک گویند. البته لازم به ذکر است که این نیرو در لحظه شروع حرکت را نیروی اصطکاک ایستایی می‌گویند، اما در طول حرکت جسم نیز نیرو وجود دارد که در این حالت نیروی اصطکاک لغزشی می‌گویند.

تجربه نشان می‌دهد که نیروی اصطکاک همواره با نیروی عمودی که از طرف جسم بر سطح اتکای آن وارد می‌شود، متناسب است. نیروی عمودی که گاهی نیروی بار نیز گفته می‌شود، نیرویی است که هر جسم در راستای عمود بر سطح تماس خود به جسم دیگر یا به سطح اتکای خود وارد می‌کند. این نیرو از تغییر کشسان اجسام در تماس ناشی می‌شود. مثلاً در مورد جسمی که روی یک میز افقی به حالت سکون قرار دارد یا روی آن می‌لغزد، بزرگی نیروی عمودی با وزن جسم برابر است. چون جسم شتاب قائم ندارد، لذا باید میز نیز نیرویی به طرف بالا بر آن وارد کند که بزرگی آن با کشش رو به پایین وارد بر جسم از طرف زمین، یعنی با وزن جسم، برابر است.

بیشترین مقدار نیروی اصطکاک با کمترین نیروی لازم برای شروع به حرکت جسم برابر است. وقتی که حرکت شروع شد، معمولاً نیروی اصطکاک بین سطوح کاهش پیدا می‌کند و نیروی کمتری برای یکنواخت ماندن حرکت لازم است. همچنین گفتیم که بزرگی نیروی اصطکاک با نیروی عمود بر سطح از طرف جسم متناسب است. ضریب تناسبی که این رابطه تناسب را به تساوی تبدیل می‌کند، ضریب اصطکاک نام دارد. ضریب اصطکاک به عوامل مختلفی چون جنس ماده، پرداخت سطحی، فیلمهای سطحی، دما و میزان آلودگی سطح بستگی دارد. در این آزمایش سعی داریم در مورد چند سطح مختلف ضریب اصطکاک را محاسبه کنیم.

قوانین اصطکاک: اصطکاک نیرویی است که با حرکت دو سطح نسبت به هم مخالفت می‌کند. مقدار این نیرو متناسب

است با نیروی عمود بر سطح بین دو جسم. در مدل‌های ساده‌شده، اصطکاک را در دو دسته اصطکاک جنبشی و اصطکاک ایستایی رده‌بندی می‌کنند. نیروی اصطکاک ایستایی f_s وقتی دو جسم نسبت به هم ساکن‌اند به هر یک از دو جسم وارد می‌شود و دقیقاً مخالف نیرویی است که می‌خواهد دو جسم را نسبت به هم بلغزاند. این نیرو مقدار بیشینه‌ای دارد که با نیروی عمود بر سطح متناسب است:

$$F_{s,max} = \mu_s N$$

ضریب تناسب μ_s ضریب اصطکاک ایستایی نام دارد و وابسته به ویژگی‌های دو سطح است و N نیروی عمودی شده از سطح تماس است. مقدار نیروی اصطکاک می‌تواند بین صفر تا این مقدار بیشینه تغییر کند. نیروی اصطکاک جنبشی f_k وقتی دو جسم نسبت به هم در حرکتند به هر یک از دو جسم وارد می‌شود و مقدار آن ثابت و برابر با $f_k = \mu_k N$ است. این نیرو در خلاف جهت حرکت دو جسم نسبت به یکدیگر است و با حرکت آن‌ها مخالفت می‌کند. ضریب تناسب μ_k ضریب اصطکاک جنبشی نام دارد و وابسته به ویژگی‌های دو سطح است و N نیروی عمودی وارد شده از سطح تماس به جسم است.

μ_k معمولاً کوچکتر از μ_s است. مدل ساده شده ی بالا فقط به تقریب درست است. مثلاً در این مدل نیروی اصطکاک به مساحت تماس دو جسم وابسته نیست، حال آن که در عمل این نیرو به سطح تماس دو جسم بستگی زیادی دارد.

اندازه گیری ضریب اصطکاک روی سطح شیبدار

هر سطحی با افق زاویه بسازد، سطح شیبدار گفته می شود. اگر جسمی بر روی سطح شیبدار قرار داده شود، تحت اثر نیروهای وزن جسم، واکنش عمودی سطح شیبدار و نیروی اصطکاک بین دو سطح تماس قرار می گیرد و جسم تحت اثر بر آیند این نیروها حرکت می کند. فرض کنید جسمی بر روی یک سطح شیبدار قرار دارد. در این حالت محورهای مختصات را به گونه ای انتخاب می کنیم که محور X در امتداد سطح شیبدار و محور Y در امتداد عمود بر سطح باشد. همچنین جهت محور X ها را از بالا به پایین انتخاب می کنیم. نیروی وزن جسم را در امتداد محور X و Y تجزیه می کنیم. بنابراین اگر جرم جسم M و زاویه شیب سطح شیبدار θ باشد، در این صورت مولفه $Mg \sin \theta$ در امتداد سطح بوده و مولفه $Mg \cos \theta$ در امتداد محور Y خواهد بود. این مولفه همان مولفه عمودی سطح است. در مورد ضریب اصطکاک ایستایی که جسم در آستانه حرکت است، نیروی اصطکاک برابر با مولفه $Mg \cos \theta$ نیروی وزن است و چون گفتیم که نیروی اصطکاک با نیروی عمودی سطح متناسب است، لذا ضریب اصطکاک از رابطه

$$\mu_s = Mg \sin / Mg \cos \quad (1)$$

حاصل خواهد شد.

بنابراین برای انجام این آزمایش یک مکعب چوبی به جرم معین را روی سطح شیبدار قرار داده و آن را بوسیله یک تکه نخ و یک قرقه به وزنه ای که در داخل کفه ای قرار دارد و آویزان است، وصل می کنیم. به این ترتیب ضریب اصطکاک که با $\tan \theta$ برابر است، قابل اندازه گیری خواهد بود. این آزمایش را چند بار تکرار می کنیم و به این ترتیب μ_s مناسبی را انتخاب می کنیم.

اندازه گیری ضریب اصطکاک جنبشی :

برای این کار مکعب چوبی را روی سطح شیبدار قرار داده و به تدریج زاویه سطح شیبدار را تغییر می دهیم تا اینکه قطعه چوب با یک ضربه کوچک با حرکت یکنواخت و ثابت روی سطح حرکت کند. (در ضمن شیب دادن به سطح مرتباً به مکعب ضربه های کوچک وارد می کنیم) سپس زاویه سطح شیبدار را بوسیله نقاله اندازه می گیریم و از رابطه $\mu_k = \tan \theta$ ضریب اصطکاک جنبشی را حساب می کنیم، θ_k زاویه ای است که تحت آن مکعب با ضربه ملایمی به حرکت در می آید. این آزمایش را نیز برای اجسام مختلف تکرار می کنیم.

نیروی اصطکاک : مولفه نیروی سطح در راستای مماس بر سطح نیروی اصطکاک نام دارد، نیروی اصطکاک همیشه در خلاف جهت حرکت جسم اثر می کند. و آنرا با f_s نشان می دهیم. فرض کنید که مکعبی روی میز قرار گرفته است، فنی (در اینجا نیرو سنج) را به مکعب بسته و از انتهای دیگر فنر طوری مکعب را می کشیم که دستمان با سطح میز موازی باشد. اگر فنر را

بکشیم از روی افزایش طول آن در می‌یابیم که انتهای دیگر فنر چه نیرویی به قطعه چوب وارد می‌کند. اگر نیروی وارده کوچک باشد ابتدا مکعب حرکت نمی‌کند. نیروهای دیگری نیز در این مساله دخیل‌اند، از جمله نیروی عمودی سطح، نیروی وزن و از آنجایی که در هیچ یک از دو راستای عمود و مماس بر سطح شتابی وجود ندارد برآیند نیروها در دو راستا باید صفر شود. به همین منظور مولفه عمودی نیروی وزن باید با نیروی عمودی میز بر مکعب برابری کند و نیروی فنر توسط عامل دیگری که همان نیروی اصطکاک هست حذف می‌شود.

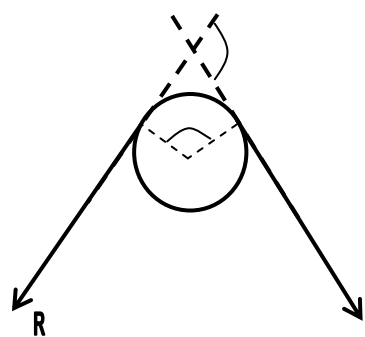


f_s ماکزیمم :

اگر نیرویی که با دستمان وارد می‌کنیم به مقدار معین برسد، مکعب در آستانه حرکت قرار می‌گیرد. در این حالت f_s به بیشترین مقدار خود رسیده است که آن را با $f_{s \max}$ نشان می‌دهیم. از این پس با افزایش نیروی فنر برآیند نیروها در راستای مماس بر سطح صفر نیست و مکعب شتاب می‌گیرد.

ضریب اصطکاک ایستایی: $f_{\max}$ با نیروی عمود یعنی N متناسب

است (تجربه برای بسیاری از سطح تماس این مساله را طرح کرد). بخاطر تساوی رابطه $f_{\max}$ با N مولفه عمودی نیرو، ضریبی را به N دخالت می‌هیم که این ضریب، ضریب اصطکاک حالت سکون نامیده می‌شود که f_s کوچکتر مساوی $\mu_s N$ هست. کوچکتر وقتی هست که نیروی اصطکاک به $f_{\max}$ می‌رسد و جسم در آستانه حرکت قرار می‌گیرد.

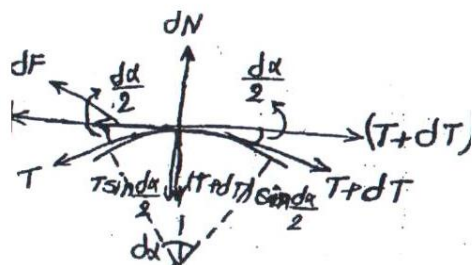


ضریب اصطکاک لغزشی: آزمایش نشان می‌دهد که در هنگام حرکت مکعب نیز یک نیروی اصطکاک در همان جهت f_s بر جسم وارد می‌شود، این نیروی اصطکاک که بر جسم متحرک وارد می‌شود نیروی اصطکاک در حال حرکت نامیده می‌شود و چون f_k با $f_{\max}$ یکی نیست لذا ضریب تناسب نیز متفاوت است پس می‌توان گفت که آنچه سبب تساوی f_k با N می‌شود μ_k ضریب اصطکاک لغزشی نام دارد.

ویژگی μ_s و μ_k : همواره ضریب اصطکاک لغزش از ضریب اصطکاک حالت سکون

کمتر است. هردو به جنس دو سطح تماس، رطوبت و بطور کلی به شرایط

محیط بستگی دارند.



اصطکاک سطح خمیده:

به دلیل وجود اصطکاک R برابر با Q نمی‌باشد.

با المان گیری از سطح کوچکی از تماس داریم:

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \rightarrow -dF - T \cos\left(\frac{d\alpha}{2}\right) + T + dT \cos\left(\frac{d\alpha}{2}\right) = 0 \\ \sum F_y = 0 \rightarrow dN - T \sin\left(\frac{d\alpha}{2}\right) - (T + dT) \sin\left(\frac{d\alpha}{2}\right) = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \mu_s = \frac{dF}{dN} = \frac{dF}{T d\alpha} \rightarrow \int \frac{dT}{T} = \int \mu_s d\alpha \rightarrow \ln T = \mu_s \alpha \rightarrow \ln \frac{Q}{R} = \mu_s \alpha \rightarrow Q = R e^{\mu_s \alpha}$$

شرح عملی آزمایش:

قسمت (۱):

ابتدا سطح شیب دار تنظیم (تراز) شد سپس قطعه ای از چوب که یکطرفش نیز قطعه ای از جنس پلاستیک بر آن چسبیده شده بود را برداشته و سپس هردو سطح را تمیز کرده و در دو مرحله جدا گانه هر سطح تخته چوب را روی سطح شیب دار قرار داده شد و آهسته آهسته شیب آن زیاد شد تا در زاویه ای شروع به حرکت کند. این کار ۴ مرتبه انجام شد و در جدول (۱) یادداشت شد. و به کمک آن موارد دیگر جدول تکمیل شد.

قسمت (۲)

برای بدست آوردن ضریب اصطکاک ایستایی به روش دیگری نیز آزمایشی انجام شد که در آن همان قطعه چوبی را روی سطح افقی قرار داده شد و نیروسنج به آن متصل و به آرامی کشیده شد تا در آستانه حرکت قرار گیرد و این نیرو در جدول (۲) ثبت شد و مقدار ضریب اصطکاک مجدداً حساب شد.

قسمت (۳)

در این قسمت قطعه روی سطح شیبدار قرار داده شد و سپس اندک اندک شیب افزایش یافت و در هر افزایش ضربه کوچکی به جسم وارد میشد تا زمانی که خود جسم شروع به حرکت یکنواخت کند و در این هنگام زاویه در جدول (۳) یادداشت شد و ضریب اصطکاک دینامیکی نیز محاسبه شد.

قسمت (۴)

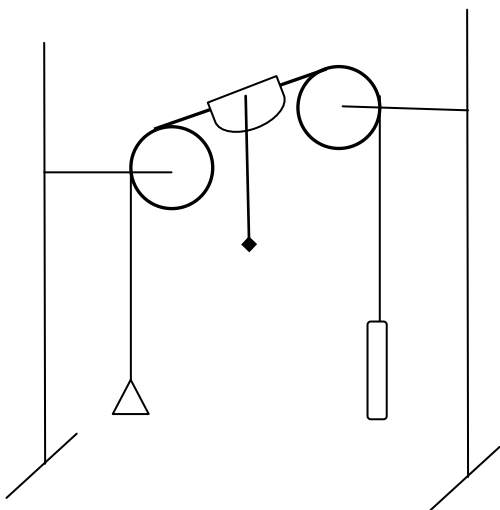
برای بدست آوردن ضریب اصطکاک دینامیکی به روش دیگری نیز آزمایشی انجام شد که در آن همان قطعه چوبی را روی سطح افقی قرار داده شد و نیروسنج به آن متصل و به آرامی کشیده شد تا شروع به حرکت یکنواخت کرده و با سرعت ثابت حرکت داده شد و مقدار نیرو در جدول (۴) یادداشت شد که ۳ مرتبه این آزمایش انجام شد و به کمک داده ها مجدداً مقدار ضریب اصطکاک دینامیکی محاسبه شد.

قسمت (۵)

حال سطح سیب دار را در زاویه ۳۵ درجه تنظیم و یک با همان قطعه چوب و بار دیگر یک ارا به در پایین سطح شیب دار قرار داده شد و سپس به کمک نیرو سنج به اجسام به طور جداگانه نیرویی اعمال شد تا با سرعت ثابت از سطح شیب دار به بالا کشیده شدند و نیرو ها در جدول (۵) ثبت و مقدار بازده محاسبه شد.

قسمت (۶)

حال برای محاسبه ضریب اصطکاک یک سطح خمیده از دو قرقره که یکی ثابت (با اصطکاک) و دیگری متحرک (بدون اصطکاک) بود استفاده شد. به گونه ای که با توجه به زاویه ها مورد نیاز جدول و تنظیم دستگاه جسم آویزان را روی میز قرار داده و از آن طرف نخ به کمک یک نیرو سنج آرام آرام نیرو وارد کرده تا جسم در آستانه حرکت (با یک لغزش) قرار گرفته شد و سپس مقادیر نیرو در جدول (۶) ثبت شد و دیگر موارد خواسته شده نیز تکمیل گردید.



جداول:

نوع سطح تماس	$\theta_1(^{\circ})$	$\theta_2(^{\circ})$	$\theta_3(^{\circ})$	$\theta_4(^{\circ})$	$\theta_m(^{\circ})$	$\Delta\theta(^{\circ})$	$\mu_s = \tan\theta_m$	$\Delta\mu_s$
چوب-چوب	۲۴	۲۷	۲۹	۲۷	۲۶.۷۵	۳.۷۵	۰.۵۰	۰.۰۲۵
چوب-پلاستیک	۳۵	۳۲	۳۱	۲۹	۳۱.۷۵	۴.۷۵	۰.۶۱	۰.۰۳۶

جدول (۱)

نوع سطح	N	ΔN	f_{s1}	f_{s2}	f_{s3}	$\bar{f}_s$	Δf_s	μ_s	$\Delta\mu_s$
چوب-چوب	۱.۱ N	۰.۰۲ N	۰.۴۱ N	۰.۴۴ N	۰.۳۹ N	۰.۵۹ N	۰.۲۲ N	۰.۵۳	۰.۰۲۱
چوب-پلاستیک	۱.۱ N	۰.۰۲ N	۰.۸۳ N	۰.۸۵ N	۰.۸۶ N	۰.۸۵ N	۰.۰۴ N	۰.۷۷	۰.۰۵

جدول (۲)

نوع سطح تماس	$\theta_1(^{\circ})$	$\theta_2(^{\circ})$	$\theta_3(^{\circ})$	$\theta_4(^{\circ})$	$\theta_m(^{\circ})$	$\Delta\theta(^{\circ})$	μ_d	$\Delta\mu_d$
چوب-چوب	۱۷	۱۸	۱۵	۱۶	۱۶.۵	۲.۵	۰.۳۰	۰.۰۱۵
چوب-پلاستیک	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۱.۵	۲.۵	۰.۴۰	۰.۰۱۶

جدول (۳)

نوع سطح	N	ΔN	f_{d1}	f_{d2}	f_{d3}	$\bar{f}_d$	Δf_d	μ_d	$\Delta\mu_d$
چوب-چوب	۱.۱ N	۰.۰۲ N	۰.۳۰ N	۰.۳۴ N	۰.۳۸ N	۰.۳۴ N	۰.۰۶ N	۰.۳۰	۰.۰۶
چوب-پلاستیک	۱.۱ N	۰.۰۲ N	۰.۳۲ N	۰.۳۶ N	۰.۳۸ N	۰.۳۵ N	۰.۰۵ N	۰.۳۱	۰.۰۵

جدول (۴)

نوع سطح	P	$\Delta P(N)$	$\theta(^{\circ})$	$F_1(N)$	$F_2(N)$	$F_3(N)$	$\bar{F}_s(N)$	$\Delta F(N)$	R(N)	$\Delta R(N)$
با اصطکاک	۱.۱ N	۰.۰۲	۳۵	۰.۵۰	۰.۵۶	۰.۶۲	۰.۵۶	۰.۰۸ N	۱.۱۲	۱.۷۹
بدون اصطکاک	۲.۷۶N	۰.۰۲	۳۵	۰.۷۰	۰.۶۸	۰.۷۲	۰.۷۰	۰.۰۴ N	۱.۱۰	۱.۶۵

جدول (۵)

$\alpha(RAD)$	$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/4$	π
R (N)	۰.۴	۰.۴	۰.۴	۰.۴
Q_1 (N)	۰.۶۶	۰.۹۰	۱.۵	۱.۵۶
Q_2 (N)	۰.۶۲	۰.۸۸	۱.۵	۱.۵۸
Q_3 (N)	۰.۶۶	۰.۸۴	۱.۴۸	۱.۶۰
$\bar{Q}$ (N)	۰.۶۵	۰.۸۷	۱.۴۹	۱.۵۸
ΔQ (N)	۰.۰۵	۰.۰۵	۰.۰۳	۰.۰۴
$\bar{Q}/R$	۱.۶۲۵	۲.۱۷۵	۳.۷۲۵	۳.۹۵
$\ln Q/R$	۰.۴۸	۰.۷۷	۱.۳۱	۱.۳۷
$\Delta(\ln Q/R)$	۰.۱۰۱	۰.۰۸۲	۰.۰۴۵	۰.۰۵۰

جدول (۶)

نمودار به صورت ضمیمه در انتهای گزارش موجود می باشد.

محاسبات و خطاها:

قسمت (۱)

$$\theta_{m1} = \frac{\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4}{4} = 26.75^\circ \quad \theta_{m2} = 31.75^\circ$$

$$\delta\theta_1 = \max\{|\theta_i - \theta_m|\} = \max\{|24 - 26.75|, |27 - 26.75|, |29 - 26.75|, |27 - 26.75|\} \\ = \max\{2.75, 0.25, 2.25, 0.25\} = 2.75^\circ$$

$$\Delta\theta_1 = \text{خطای آزمایش کننده} + \text{خطا دستگاه اندازه گیری} = 1^\circ + 2.75^\circ = 3.75^\circ$$

$$\delta\theta_2 = \max\{|\theta_i - \theta_m|\} = \max\{|35 - 31.75|, |32 - 31.75|, |31 - 31.75|, |29 - 31.75|\} \\ = \max\{3.25, 0.25, 0.75, 2.75\} = 3.25^\circ$$

$$\Delta\theta_2 = \text{خطای آزمایش کننده} + \text{خطا دستگاه اندازه گیری} = 1^\circ + 3.25^\circ = 4.75^\circ$$

$$\mu_{s1} = \tan \theta_{m1} = \tan 26.75 = 0.50$$

$$\mu_{s2} = \tan \theta_{m2} = \tan 31.75 = 0.61$$

برای محاسبه خطای μ کافی است از رابطه آن با زاویه شیب دیفرانسیل گرفت:

$$d\mu_s = (1 + \tan^2 \theta_m) d\theta \Rightarrow \Delta\mu_s = (1 + \tan^2 \theta_m) \Delta\theta \quad (\text{رادیان}) \quad \Delta\theta_1 = 3.75^\circ = 0.020 \text{ rad}$$

$$\Delta\mu_{s1} = (1 + \tan^2 \theta_m) \Delta\theta = (1 + 0.25) 0.02 = 0.025 \quad \Delta\theta_1 = 4.75^\circ = 0.026 \text{ rad}$$

$$\Delta\mu_{s2} = (1 + \tan^2 \theta_m) \Delta\theta = (1 + 0.38) 0.026 = 0.036$$

قسمت (۲)

$$f_{sm1} = \frac{f_{s1} + f_{s2} + f_{s3}}{3} = 0.59 \text{ N} \quad f_{sm2} = 0.85 \text{ N}$$

$$\delta f_{s1} = \max\{|f_{si} - f_{sm}|\} = \max\{|0.41 - 0.59|, |0.44 - 0.59|, |0.39 - 0.59|\} = \max\{0.18, 0.15, 0.20\} \\ = 0.20 \text{ N}$$

$$\Delta f_{s1} = \text{خطای آزمایش کننده} + \text{خطا دستگاه اندازه گیری} = 0.02 + 0.2 = 0.22 \text{ N}$$

$$\delta f_{s2} = \max\{|f_s - f_{sm}|\} = \max\{|0.83 - 0.85|, |0.85 - 0.85|, |0.86 - 0.85|\} = \max\{0.02, 0, 0.01\} = 0.02N$$

$$\Delta f_2 = \text{خطای آزمایش کننده} + \text{خطا دستگاه اندازه گیری} = 0.02 + 0.02 = 0.04N$$

$$\mu_s = \frac{f_{ms}}{N} \Rightarrow \mu_{s1} = \frac{f_{ms1}}{N} = \frac{0.59}{1.1} = 0.53 \quad \mu_{s2} = \frac{0.85}{1.1} = 0.77$$

برای محاسبه خطای ضریب اصطکاک باید از رابطه $\mu_s = \frac{f_s}{N}$ دیفرانسیل گرفت:

$$\ln \mu_s = \ln f_s - \ln N \Rightarrow \frac{\Delta \mu_s}{\mu_s} = \frac{\Delta f_s}{f_s} + \frac{\Delta N}{N} \Rightarrow \Delta \mu_s = \mu_s \left(\frac{\Delta f_s}{f_s} + \frac{\Delta N}{N} \right) = \frac{\Delta f_s \cdot N + \Delta N \cdot f_s}{N^2}$$

$$\Delta \mu_{s1} = \frac{0.22 \times 1.1 + 0.02 \times 0.59}{1.21} = 0.21 \quad \Delta \mu_{s2} = \frac{0.04 \times 1.1 + 0.02 \times 0.85}{1.21} = 0.05$$

قسمت (۳)

$$\theta_{m1} = \frac{\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4}{4} = 16.5^\circ \quad \theta_{m2} = 21.5^\circ$$

$$\delta \theta_1 = \max\{|\theta_i - \theta_m|\} = \max\{|17 - 16.5|, |18 - 16.5|, |15 - 16.5|, |16 - 16.5|\} = \max\{0.5, 1.5, 1.5, 0.5\} = 1.5^\circ$$

$$\Delta \theta_1 = \text{خطای آزمایش کننده} + \text{خطا دستگاه اندازه گیری} = 1^\circ + 1.5^\circ = 2.5^\circ$$

$$\delta \theta_2 = \max\{|\theta_i - \theta_m|\} = \max\{|20 - 21.5|, |21 - 21.5|, |22 - 21.5|, |23 - 21.5|\} = \max\{1.5, 0.5, 0.5, 1.5\} = 1.5^\circ$$

$$\Delta \theta_2 = \text{خطای آزمایش کننده} + \text{خطا دستگاه اندازه گیری} = 1^\circ + 1.5^\circ = 2.5^\circ$$

$$\mu_{d1} = \tan \theta_{m1} = \tan 16.5 = 0.30$$

$$\mu_{d2} = \tan \theta_{m2} = \tan 21.5 = 0.40$$

برای محاسبه خطای μ کافی است از رابطه آن با زاویه شیب دیفرانسیل گرفت:

$$d\mu_d = (1 + \tan^2 \theta_m) d\theta \Rightarrow \Delta \mu_d = (1 + \tan^2 \theta_m) \Delta \theta \quad (\text{رادیان}) \quad \Delta \theta_1 = 2.5^\circ = 0.014 \text{ rad}$$

$$\Delta \mu_{d1} = (1 + \tan^2 \theta_m) \Delta \theta = (1 + 0.087) 0.014 = 0.015 \quad \Delta \theta_1 = 2.5^\circ = 0.014 \text{ rad}$$

$$\Delta \mu_{d2} = (1 + \tan^2 \theta_m) \Delta \theta = (1 + 0.155) 0.014 = 0.016$$

$$f_{dm1} = \frac{f_{d1} + f_{d2} + f_{d3}}{3} = 0.34N \quad f_{dm2} = 0.35N$$

$$\delta f_{d1} = \max\{|f_{di} - f_{dm}|\} = \max\{|0.30 - 0.34|, |0.34 - 0.34|, |0.38 - 0.34|\} = \max\{0.04, 0, 0.04\} = 0.04 N$$

$$\Delta f_{d1} = \text{خطای آزمایش کننده} + \text{خطا دستگاه اندازه گیری} = 0.02 + 0.04 = 0.06N$$

$$\delta f_{d2} = \max\{|f_{di} - f_{dm}|\} = \max\{|0.32 - 0.35|, |0.36 - 0.35|, |0.38 - 0.35|\} = \max\{0.03, 0.01, 0.03\} = 0.03N$$

$$\Delta f_{d2} = \text{خطای آزمایش کننده} + \text{خطا دستگاه اندازه گیری} = 0.02 + 0.03 = 0.05N$$

$$\mu_d = \frac{f_{md}}{N} \Rightarrow \mu_{s1} = \frac{f_{md1}}{N} = \frac{0.34}{1.1} = 0.30 \quad \mu_{d2} = \frac{0.35}{1.1} = 0.31$$

برای محاسبه خطای ضریب اصطکاک باید از رابطه $\mu_K = \frac{f_d}{N}$ دیفرانسیل گرفت:

$$\ln \mu_d = \ln f_d - \ln N \Rightarrow \frac{\Delta \mu_d}{\mu_d} = \frac{\Delta f_d}{f_d} + \frac{\Delta N}{N} \Rightarrow \Delta \mu_d = \mu_d \left(\frac{\Delta f_d}{f_d} + \frac{\Delta N}{N} \right) = \frac{\Delta f_d \cdot N + \Delta N \cdot f_d}{N^2}$$

$$\Delta \mu_{d1} = \frac{0.06 \times 1.1 + 0.02 \times 0.34}{1.21} = 0.06 \quad \Delta \mu_{d2} = \frac{0.05 \times 1.1 + 0.02 \times 0.35}{1.21} = 0.05$$

$$F_1 = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{3} = 0.56N \quad F_2 = 0.70N$$

$$\delta F_1 = \max\{|F_i - F_m|\} = \max\{|0.50 - 0.56|, |0.56 - 0.56|, |0.62 - 0.56|\} = \max\{0.06, 0, 0.04\} = 0.06 N$$

$$\Delta F_1 = \text{خطای آزمایش کننده} + \text{خطا دستگاه اندازه گیری} = 0.02 + 0.06 = 0.08N$$

$$\delta F_2 = \max\{|F_i - F_m|\} = \max\{|0.70 - 0.70|, |0.68 - 0.70|, |0.72 - 0.70|\} = \max\{0, 0.02, 0.02\} = 0.02 N$$

$$\Delta F_2 = \text{خطای آزمایش کننده} + \text{خطا دستگاه اندازه گیری} = 0.02 + 0.02 = 0.04N$$

$$R = \frac{P \sin \theta}{F} \Rightarrow R_1 = \frac{1.1 \times 0.57}{0.56} = 1.12N \quad R_2 = \frac{2.76 \times 0.57}{0.70} = 1.10N$$

برای محاسبه خطای R داریم:

$$\ln R = \ln P + \ln \sin \theta - \ln F \Rightarrow \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta P}{P} + \frac{\cos \theta}{\sin \theta} + \frac{\Delta F}{F} \Rightarrow \Delta R_1 = 1.12 \left(\frac{0.02}{1.1} + \frac{0.82}{0.57} + \frac{0.08}{0.56} \right) = 1.79$$

$$\Delta R_2 = 1.10 \left(\frac{0.02}{2.76} + \frac{0.82}{0.57} + \frac{.04}{0.70} \right) = 1.65$$

قسمت (۶)

$$\overline{Q}_1 = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3} = 0.65N \quad \overline{Q}_2 = 0.87N \quad \overline{Q}_3 = 1.49N \quad \overline{Q}_4 = 1.58N$$

$$\delta Q_1 = \max\{|Q_i - Q_m|\} = \max\{|0.66 - 0.65|, |0.62 - 0.65|, |0.66 - 0.65|\} = \max\{0.01, 0.03, 0.01\} = 0.03N$$

$$\Delta Q_1 = \text{خطای آزمایش کننده} + \text{خطا دستگاه اندازه گیری} = 0.02 + 0.03 = 0.05N$$

$$\delta Q_2 = \max\{|Q_i - Q_m|\} = \max\{|0.90 - 0.87|, |0.88 - 0.87|, |0.84 - 0.87|\} = \max\{0.03, 0.01, 0.03\} = 0.03N$$

$$\Delta Q_2 = \text{خطای آزمایش کننده} + \text{خطا دستگاه اندازه گیری} = 0.02 + 0.03 = 0.05N$$

$$\delta Q_3 = \max\{|Q_i - Q_m|\} = \max\{|1.50 - 1.49|, |1.50 - 1.49|, |1.48 - 1.49|\} = \max\{0.01, 0.01, 0.01\} = 0.01N$$

$$\Delta Q_3 = \text{خطای آزمایش کننده} + \text{خطا دستگاه اندازه گیری} = 0.02 + 0.01 = 0.03N$$

$$\delta Q_4 = \max\{|Q_i - Q_m|\} = \max\{|1.56 - 1.58|, |1.58 - 1.58|, |1.60 - 1.58|\} = \max\{0.02, 0, 0.02\} = 0.02N$$

$$\Delta Q_4 = \text{خطای آزمایش کننده} + \text{خطا دستگاه اندازه گیری} = 0.02 + 0.02 = 0.04N$$

برای بدست آوردن خطای $M = \frac{\bar{Q}}{R}$ از طرفین ln و سپس دیفرانسیل میگیریم: (می دانیم خطای R برابر $N \pm 0.1$ می باشد)

$$\ln M = \ln \bar{Q} - \ln R \Rightarrow \frac{\Delta M}{M} = \frac{\Delta \bar{Q}}{\bar{Q}} + \frac{\Delta R}{R}$$

$$\frac{\Delta M_1}{M_1} = \frac{0.05}{0.65} + \frac{0.01}{0.4} = 0.101$$

$$\frac{\Delta M_2}{M_2} = \frac{0.05}{0.87} + \frac{0.01}{0.4} = 0.082$$

$$\frac{\Delta M_3}{M_3} = \frac{0.03}{1.49} + \frac{0.01}{0.4} = 0.045$$

$$\frac{\Delta M_4}{M_4} = \frac{0.04}{1.58} + \frac{0.01}{0.4} = 0.050$$

نتیجه گیری:

همانطور که در آزمایش کم و بیش مشخص شد، ضریب اصطکاک با شیب محل رابطه متقابل دارد و پس از آن به این ایده نیز رسیدیم که ضریب اصطکاک ایستایی بیشتر از ضریب اصطکاک دینامیک است.

پرسش ها:

(۱) نیروی اصطکاک به چه عواملی بستگی دارد؟

ضریب اصطکاک به عوامل مختلفی چون جنس ماده ، پرداخت سطحی ، فیلمهای سطحی ، دما و میزان آلودگی سطح بستگی دارد.

(۲) اصطکاک با چه تدابیری کاهش می یابد؟

از بین بردن یا کاهش مواردی که در سوال یک به آنها اشاره شد. برای مثال پاک سازی سطح تماس دو جسم، روانکاری مانند استفاده از روغن برای صیقلی کردن سطح دو جسم. استفاده از ارا به جهت جابه جایی جسم مورد نظر جهت کاهش اصطکاک.

(۳) ضریب استاتیک بیشتر است یا ضریب اصطکاک لغزشی؟ چرا؟

ضریب استاتیک. هرگاه بخواهیم با اعمال نیرویی یک جسم را به حرکت واداریم به دلیل جوش بین مولکولی بین سطح تماس دو جسم باید انرژی بیشتری داد تا این جوش کنده(بشکند)شود و جسم شروع به حرکت کند و چون در حین حرکت فرصتی برای ایجاد مجدد این جوش به جسم داده نمی شود پس دیگر نیازی نیست انرژی بیشتری وارد کرد پس برای همین است که ضریب استاتیک بیشتر از ضریب دینامیک می باشد.

(۴) خطاهای موجود در این آزمایش را بین کنید.

یکی خطاها خطایی است که در تمام آزمایشها موجود می باشد و آن خطای آزمایش کننده است و خطاهای شامل کم بودن دقت اندازه گیری وسایل، یکنواخت نبودن اجسام (ویکنواخت نبودن ضریب اصطکاک در کل سطح).

(۵) در چه مواردی اصطکاک سود مند است؟

یکی از نیاز های اصلی به اصطکاک جهت راه رفتن می باشد و مواردی دیگر چون حرکت اتومبیل و توقف آن ، سمباده زدن سطح یک وسیله و....