

اصطکاک

هدف آزمایش

۱. مطالعه ی نیروی اصطکاک
۲. اندازه گیری ضرایب اصطکاک ایستایی و جنبشی سطوح مختلف

وسایل مورد نیاز

سطح شیبدار متحرک با نقاله -ترازو- لغزنده -ورقه های با جنسهای مختلف- جعبه وزنه - کفه - نخ

تئوری آزمایش

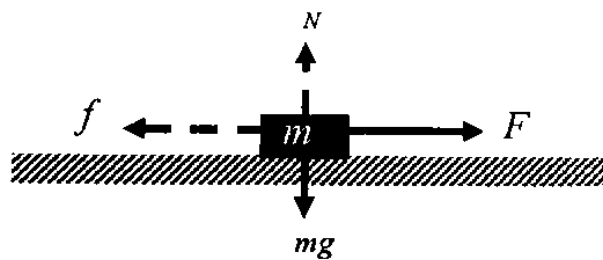
(۱) نیروی اصطکاک

اصطکاک معمولی ترین نیروی موجود پس از نیروی جاذبه است . تجربه نشان می دهد که برای کشیدن جسمی بر روی سطح افقی نیرو لازم است. این به آن دلیل است که در خلاف جهت تمایل حرکت، نیرویی به جسم وارد می شود که به آن نیروی اصطکاک لغزشی می گوییم . هر گاه جسمی به جرم m را بر روی یک سطح افقی قرار دهیم از طرف سطح نیروی عمودی $N = mg$ بر جسم وارد می شود. تجربه نشان می دهد نیروی اصطکاک لغزشی با نیروی عمودی متناسب است و مستقل از مساحت تماس ظاهری و سرعت نسبی است .

این مطلب که برای اولین بار توسط لئوناردو داوینچی هنرمند و دانشمند معروف ایتالیایی گزارش شد ، به خوبی در مکانیک کلاسیک صادق است . مطابق شکل (۱) اگر نیروی افقی F را به جسم وارد کنیم اما جسم حرکت نکند ، بر طبق قانون دوم نیوتن حتماً نیرویی بر خلاف جهت حرکت ظاهر شده است که نیروی F را خنثی می کند . این نیرو که نیروی اصطکاک ایستایی f_s نامیده میشود در نامساوی زیر صدق می کند

$$f_s \leq \mu_s N \quad (۱)$$

که در آن μ_s ضریب اصطکاک ایستایی است . این ضریب بدون بعد یا دیمانسیون است در رابطه ی بالا علامت تساوی مربوط به آستانه ی حرکت است .



شکل (۱)

در حالی که جسم روی سطح لغزش دارد نیروی اصطکاک جنبشی را خواهیم داشت به طوری که

$$F_k = \mu_k N \quad (۲)$$

که در آن μ_k ضریب اصطکاک جنبشی است. تجربه نشان می دهد که ضریب اصطکاک جنبشی کوچکتر از ضریب اصطکاک ایستایی است ($\mu_k < \mu_s$). بستگی عوامل اصلی در نیروی اصطکاک را می توان به شرح زیر بیان نمود :

(۱) نیروی اصطکاک بین دو سطح، به طبیعت سطوح و به ویژه به میزان هموار بودن آنها بستگی دارد .

(۲) نیروی اصطکاک به جنس جسم بستگی دارد .

(۳) نیروی اصطکاک مستقیماً با مولفه ی قائم نیرویی که سطوح به یکدیگر وارد می کنند متناسب است .

(۴) نیروی اصطکاک به دمای سطوح بستگی دارد .

(۵) نیروی اصطکاک به میزان آلودگی سطوح بستگی دارد .

نیروی اصطکاک مستقل از سطح تماس ظاهری و سرعت سطوح نسبت به یکدیگر است . به طور کلی سازوکار نیروی اصطکاک شامل صافی و ناصافی سطوح و جوش خوردگی موقت و یا جوش سرد است . جوش سرد که به چسبندگی سطحی نیز معروف است ناشی از تماس نزدیک مولکول های دو سطح و اعمال نیروی میان مولکولی بین آن هاست . از این رو هنگام تمایل به لغزش دو سطح روی یکدیگر ، باید هم نیروی لازم برای رها ساختن فرورفتگی ها و برجستگی ها از درون یکدیگر تأمین شود و هم بر هزاران جوش ریز در اثر تماس واقعی دو سطح غلبه کرد . اگر جسم آستانه ی حرکت را پشت سر بگذارد ، عامل دوم اصطکاک کم شده و عامل موثر صافی و ناصافی سطوح است. در نتیجه نیروی اصطکاک جنبشی کمتر از نیروی اصطکاک ایستایی است.

(۲) اندازه گیری ضریب اصطکاک سکون و جنبشی طوسح مختلف

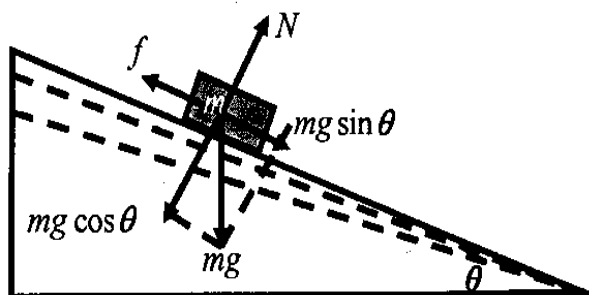
برای اندازه گیری نیروی اصطکاک لغزشی می توان از سطح افقی یا سطح شیبدار ثابت یا متحرک کمک گرفت . اگر جسمی روی سطح افقی تحت اعمال نیروی موازی با سطح در آستانه ی حرکت قرار گیرد ضریب اصطکاک ایستایی از رابطه ی

$$\mu_s = \frac{F}{N} \quad (۳)$$

و اگر در حال حرکت یکنواخت باشد رابطه ی ضریب اصطکاک جنبشی از رابطه ی زیر به دست می آید :

$$\mu_k = \frac{F}{N} \quad (۴)$$

شکل (۲) سطح شیبدار متغیری را نشان می دهد. اگر زاویه ی شیب سطح را افزایش دهیم تا جسم به آستانه ی حرکت برسد ، داریم :



شکل (۲)

$$mg \sin \theta_s = \mu_s mg \cos \theta_s \quad (۵)$$

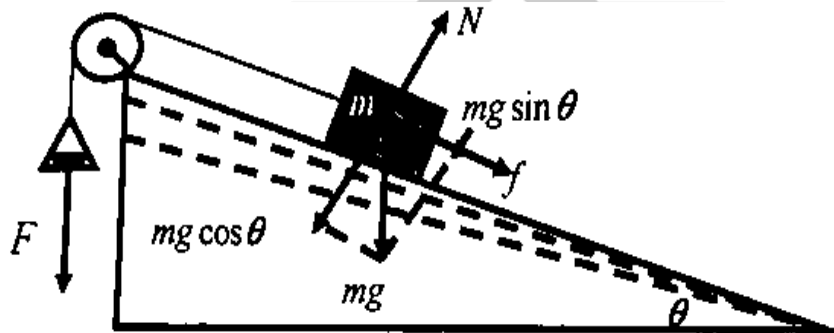
که در آن θ_s زاویه آستانه ی حرکت است . بنابراین داریم :

$$\mu_s = \tan \theta_s \quad (۶)$$

با استدلالی مشابه اگر جسم با حرکت یکنواخت روی سطح بلغزد ضریب اصطکاک جنبشی از رابطه ی زیر به دست که در آن θ_k زاویه لغزش یکنواخت است .

$$\mu_k = \tan \theta_k \quad (۷)$$

به روش دیگر اگر سطح شیبدار ثابتی با زاویه شیب θ در اختیار داشته باشیم باز هم می توان جسم را در آستانه ی حرکت یا در حال حرکت یکنواخت قرار داد و به اندازه گیری ضریب اصطکاک پرداخت . اگر جسمی مطابق شکل (۳) با سرعت ثابت از سطح شیبدار بالا رود در این صورت نیروی بالابرنده باید برابر با مجموع نیروی اصطکاک و مولفه ی نیروی وزن در راستای سطح باشد . در این مثال نیروی عمود بر سطح برابر با وزن جسم نیست بلکه تنها مولفه ای از آن است. در بعضی حالات به عنوان مثال هنگامی که جسمی را به دیوار قائمی فشار می دهیم نیروی عمودی هیچگونه بستگی به نیروی وزن ندارد .



شکل (۳)

$$F = f_k + mg \sin \theta \quad (۸)$$

و یا

$$F = \mu_k mg \cos \theta + mg \sin \theta \quad (۹)$$

و بنابراین

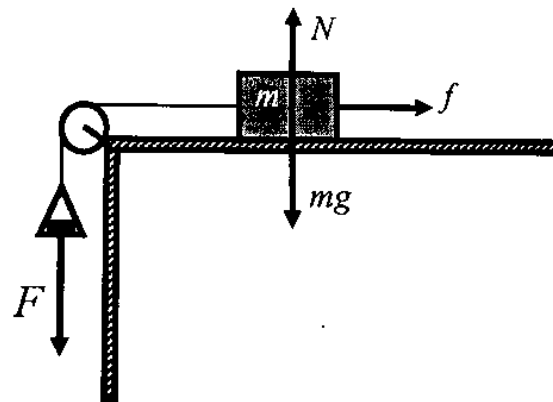
$$\mu_k = \frac{f - mg \sin \theta}{mg \cos \theta} \quad (۱۰)$$

روش آزمایش

۱) اندازه گیری ضریب اصطکاک ایستایی روی سطح افقی

در ابتدای آزمایش سطح شیبدار را به خوبی تمیز کنید. با استفاده از تراز آبی سطح مورد نظر را افقی نمایید. لغزنده را خوب تمیز کنید و آن را وزن نمایید. لغزنده را بر روی تخته قرار دهید . یک انتهای نخ را به لغزنده و انتهای دیگر آن را پس از عبور از روی قرقره ی ثابت انتهای تخته، مطابق شکل ۴ به کفه وصل کنید . دقت کنید که نخ کاملاً افقی قرار گیرد. وزنه های فلزی را به تدریج به کفه اضافه

نمایید تا جسم شروع به لغزش کند . با وزن کردن کفه و وزنه های درون آن نیروی اصطکاک را تعیین کنید .



شکل (۴)

توجه: وزنه ها را به درون کفه پرتاب نکنید، زیرا در این صورت به جسم ضربه وارد می شود . همین عمل را دو بار دیگر تکرار کرده و در سطر اول جدول (۱) گزارش کار بنویسید .

آزمایش فوق را با اضافه کردن وزنه برای ۳ وزن مختلف لغزنده به روش آزمایش (۱) تکرار کنید و در سطرهاى دوم تا چهارم جدول (۱) گزارش کار بنویسید .

$\bar{\mu}_s$	μ_s	$\bar{f}_s$	$f_{s(N)}$			$N_{(N)}$	$W_{(N)}$	شماره آزمایش
			بار سوم	بار دوم	بار اول			
								جسم لغزنده بدون وزنه اضافه
								سه وزن مختلف

جدول ۱

آزمایش را برای لغزنده دیگری با جنس متفاوت تکرار کنید و مقادیر را در جدول ۲ گزارش کار بنویسید.

$\bar{\mu}_s$	μ_s	$\bar{f}_s$	$f_{s(N)}$			$N_{(N)}$	$W_{(N)}$	شماره آزمایش
			بار سوم	بار دوم	بار اول			
								جسم لغزنده بدون وزنه اضافه
								سه وزن مختلف

جدول ۲

اکنون ورقه ای که زیر جسم لغزنده قرار می گیرد را عوض کنید و آزمایش را برای هر دو جسم لغزنده تکرار کنید و مقادیر را در جدول ۳ و ۴ گزارش کار بنویسید.

$\bar{\mu}_s$	μ_s	$\bar{f}_s$	$f_{s(N)}$			$N_{(N)}$	$W_{(N)}$	شماره آزمایش
			بار سوم	بار دوم	بار اول			
								جسم لغزنده بدون وزنه اضافه
								سه وزن مختلف

جدول ۳

$\bar{\mu}_s$	μ_s	$\bar{f}_s$	$f_{s(N)}$			$N_{(N)}$	$W_{(N)}$	شماره آزمایش
			بار سوم	بار دوم	بار اول			
								جسم لغزنده بدون وزنه اضافه
								سه وزن مختلف

جدول ۴

۲) اندازه گیری ضریب اصطکاک جنبشی روی سطح افقی

برای اندازه گیری ضریب اصطکاک جنبشی کلید لرزاننده را روشن کنید . وسایل را مطابق اولین آزمایش نصب نمایید . وزنه های فلزی را به تدریج به کفه اضافه نمایید تا جسم شروع به لغزش کند . سپس دستگاه لرزاننده را خاموش کنید تا لغزنده پس از شروع حرکت با سرعت یکنواخت به حرکت خود ادامه دهد . آزمایش را برای سه وزن مختلف لغزنده و برای هر وزن سه بار تکرار کنید و در جدول (۵) گزارش کار بنویسید .

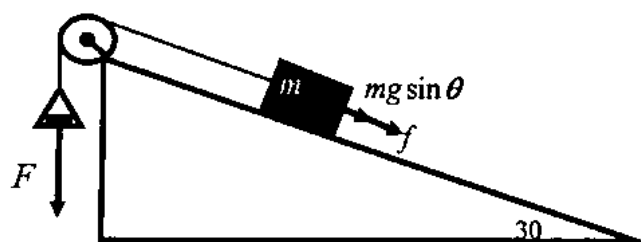
$\bar{\mu}_k$	μ_k	$\bar{f}_k(N)$	$f_k(N)$			N(N)	W(N)
			بار سوم	بار دوم	بار اول		

جدول ۵

۳) اندازه گیری ضریب اصطکاک بر روی سطح شیبدار ثابت

برای محاسبه ضریب اصطکاک ایستایی، سطح شیبدار را در زاویه ی ۳۰ درجه مطابق شکل (۵) نسبت به افق قرار دهید. لغزنده را بر روی سطح شیبدار قرار دهید . نخ متصل به لغزنده را از روی قرقره گذرانده و آن را به کفه متصل کنید. به تدریج و به آرامی به کفه وزنه اضافه کنید تا جسم آزمون در آستانه ی حرکت به طرف بالا قرار گیرد . به این ترتیب نیروی لازم برای شروع حرکت لغزنده را اندازه بگیرید . آزمایش را برای دو وزن دیگر لغزنده (W) نیز انجام دهید و در جدول (۶) بنویسید .

اکنون برای محاسبه ی ضریب اصطکاک جنبشی، با کاهش وزنه های درون کفه کلید لرزاننده را بزنید تا جسم آزمون به طور یکنواخت به طرف بالا حرکت کند . به این ترتیب نیروی لازم برای حرکت یکنواخت لغزنده را تعیین کنید آزمایش را برای دو وزن دیگر لغزنده نیز انجام دهید و در جدول (۷) بنویسید .



شکل (۵)

$\bar{\mu}_s$	μ_s	f_s	F	$F_1 = mg \sin \theta$	$N = mg \cos \theta$	W(N)

جدول ۶

$\bar{\mu}_k$	μ_k	f_k	F	$F_1 = mg \sin \theta$	$N = mg \cos \theta$	W(N)

جدول ۷

۴) اندازه گیری ضریب اصطکاک بر روی سطح شیبدار با شیب متغیر

سطح شیبدار را چنان آماده کنید که به راحتی بتوانید شیب آن را تغییر دهید. با خواندن زاویه سنج و دقت آن آشنا شوید. لغزنده را بر روی سطح شیبدار قرار دهید و بتدریج زاویه ی سطح را زیاد کنید. حداقل زاویه برای شروع حرکت لغزنده را تعیین نمایید. آزمایش را با سه وزن مختلف لغزنده و برای هر وزن سه بار انجام دهید و مقادیر اندازه گیری شده را در جدول (۸) یادداشت کنید .

μ_s	$\bar{\theta}_s$	θ_s			W(N)
		بار سوم	بار دوم	بار اول	

جدول ۸

برای محاسبه ضریب اصطکاک جنبشی همین آزمایش را تکرار کنید، با این تفاوت که در حین انجام آزمایش کلید لرزاننده را بزنید. در این حالت مقادیر اندازه گیری شده را در جدول (۹) بنویسید.

μ_k	$\bar{\theta}_k$	θ_k			W(N)
		بار سوم	بار دوم	بار اول	

جدول ۹

محاسبات ، بررسی نتایج ، پرسشها

- (۱) جسم مفروضی به شکل مکعب مستطیل را در نظر بگیرید. این جسم را یکبار با سطح کوچکتر آن روی میز اصطکاک می گذاریم و یکبار با سطح بزرگترش می گذاریم. بین نیروی اصطکاک در دو حالت چه تفاوتی وجود دارد؟ (به شکل ۱ مراجعه کنید).
- (۲) با توجه به سوال قبل، آیا نیروی اصطکاک به مساحت سطح تماس ظاهری جسم بستگی دارد؟
- (۳) در جدول ۱ یا ۲ ضرایب اصطکاک به دست آمده با وزنهای مختلف لغزانده را با یکدیگر مقایسه و نتیجه گیری نمایید.
- (۴) توجه به مقادیر اندازه گیری شده آیا وزن جسم در نیروی اصطکاک نقشی دارد؟ در ضریب اصطکاک چطور؟

۵) متوسط ضرایب اصطکاک ایستایی را با استفاده از مقادیر به دست آمده در جداول ۱ تا ۴ محاسبه کنید.

۶) چگونگی بستگی ضریب اصطکاک ایستایی را به جنس سطح تعیین کنید .

۷) ضرایب اصطکاک جنبشی جدول ۵ را با ضرایب اصطکاک ایستایی بدست آمده در سؤال ۳ مقایسه و نتیجه گیری کنید .

۸) چرا ضریب اصطکاک جنبشی کمتر از ضریب اصطکاک ایستایی است ؟

۹) چرا برای اندازه گیری ضریب اصطکاک جنبشی باید کلید لرزاننده را زد ؟

۱۰) علت های خطای آزمایش را توضیح دهید .

۱۱) متوسط ضرایب اصطکاک ایستایی و جنبشی جداول ۶ و ۷ را با یکدیگر مقایسه کنید .

۱۲) ضرایب اصطکاک ایستایی و جنبشی جداول ۸ و ۹ را با یکدیگر مقایسه کنید .

۱۳) مقادیر ضرایب اصطکاک ایستایی و جنبشی را که به روشهای مختلف به دست آوردید با یکدیگر مقایسه کنید و نتایج خود را بنویسید .

دانشگاه بوعلی سینا