

بسمه تعالی

نام و نام خانوادگی : نوید نادری علی زاده - شماره ی دانشجویی : ۸۶۱۰۸۷۴۴ - رشته : مهندسی برق -
گروه : ۱ - زیر گروه : ۲ - تاریخ انجام آزمایش : ۸۷/۲/۷ - ساعت : ۱۰:۳۰ -
دستیار آموزشی : خانم فضل علی

آزمایش شماره ی ۳

عنوان آزمایش : اصطکاک

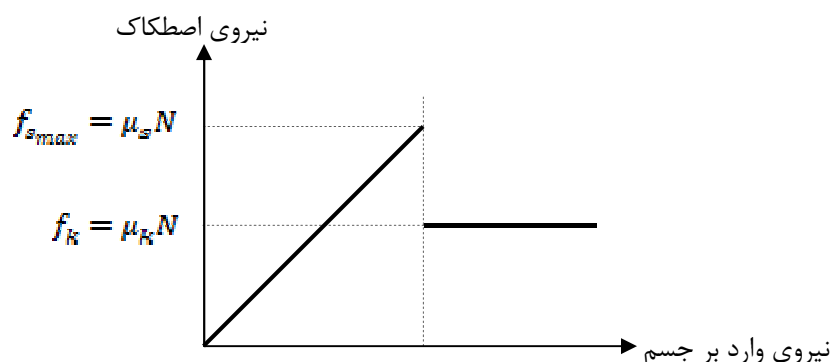
هدف : مطالعه ی قوانین حاکم بر نیروی اصطکاک و اندازه گیری ضریب اصطکاک بین دو سطح با روش های مختلف

وسایل مورد نیاز: سطح شیب دار با زاویه ی شیب قابل تنظیم ، بره ی فلزی با جنس سطوح متفاوت ، منبع تغذیه ی ۵ ولتی ، ترازو ، جاوزنه ای و وزنه های کوچک و بزرگ .

نظریه :

نیروی اصطکاک ، نیرویی است که در اکثر مواقع در مقابل لغزش جسم ، مقاومت می کند . در بسیاری از مسائل فیزیکی ، برای راحتی کار ، از نیروی اصطکاک صرف نظر می شود ؛ ولی واقعیت این است که در جهان خارج ، تقریباً هیچ دو سطحی وجود ندارند که اصطکاک بین آنها برابر صفر باشد ؛ شاید اصطکاک در ظاهر نیرویی بی‌پهوده و تلف کننده ی انرژی به نظر برسد ؛ اما با کمی تأمل در می یابیم که در صورت وجود نداشتن نیروی اصطکاک ، تقریباً زندگی غیر ممکن می شد ؛ انسان ها نمی توانستند راه بروند ؛ ماشین ها نمی توانستند بر روی جاده ها حرکت کنند و

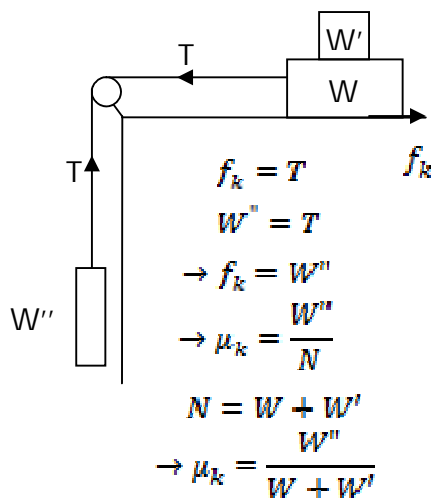
به هر حال ، پس از این مقدمه ی کوتاه ، به محتوای این آزمایش می پردازیم ؛ در این آزمایش ضریب اصطکاک بین سطوح مختلف را با آزمایش های متفاوت اندازه گیری خواهیم کرد . می دانیم که برای یک جسم که روی یک سطح افقی قرار دارد ، اگر نیرویی بر آن وارد شود ولی جسم حرکت نکند ، طبق قانون اول نیوتن ، نیروی اصطکاک ایستایی با نیروی وارد شده بر جسم برابر است . اگر ما نیروی وارد بر جسم را افزایش دهیم ، کران بالایی برای این نیرو پیدا می شود که به ازای آن ، جسم در آستانه ی حرکت قرار می گیرد . این بیشینه ی نیروی اصطکاک ایستایی را با f_{smax} نشان می دهیم که از تقسیم این نیرو به نیروی عمودی سطح (N) ، ضریب اصطکاک ایستایی (μ_s) به دست می آید . با افزایش نیروی وارد بر جسم ، جسم شروع به حرکت می کند و در حال حرکت ، نیروی اصطکاک ثابت خواهد بود که به آن ، نیروی اصطکاک جنبشی می گوئیم و آنرا با f_k نمایش می دهیم و از تقسیم آن بر نیروی عمودی سطح (N) ، متناظراً ضریب اصطکاک جنبشی (μ_k) به دست می آید . این ضریب ، معمولاً از ضریب اصطکاک ایستایی بیشتر است و به همین دلیل ، نمودار نیروی اصطکاک بر حسب نیروی وارد بر جسم ، تقریباً به صورت زیر خواهد بود :



در آزمایش های این جلسه ، ما نیروی اصطکاک و ضریب اصطکاک را بر روی سطوح افقی و شیب دار ، بررسی خواهیم کرد .

روند انجام آزمایش :

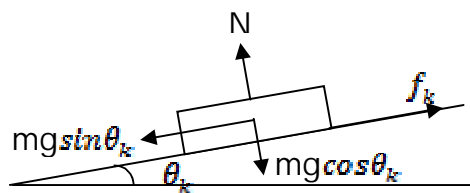
۱) اندازه گیری ضریب اصطکاک جنبشی بین دو جسم در حالت افقی



ابتدا سطح را کاملاً افقی کرده ، سطح روکش دار را رو با بالا قرار می دهیم ؛ بره را از سطح آلومینیومی آن بر روی محدوده ی معینی از سطح روکش دار چوب قرار می دهیم ؛ وزنه ی ۲۰۰ گرمی را بر روی بره قرار می دهیم ؛ بره را با نخ که از روی قرقره عبور کرده است ، به جا وزنه ای متصل می کنیم و آنقدر به جاوزنه ای وزنه اضافه می کنیم که با زدن ضربه های کوچک توسط چکش پلاستیکی ، جسم با سرعت ثابت شروع به حرکت کند ؛ در این حالت ، وزن جاوزنه ای به همراه وزنه های درون آن ، تقریباً برابر نیروی کشش نخ و نیروی کشش نخ نیز برابر نیروی اصطکاک جنبشی بره با سطح روکش دار است . وزن جاوزنه ای و وزنه های درون آن را یادداشت می کنیم ؛ آزمایش را برای وزنه های ۴۰۰ ، ۶۰۰ ، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ گرمی و همچنین برای سطح بدون روکش چوب تکرار می کنیم . در پایان ، جرم مکعب (بره) را با ترازو اندازه گیری می کنیم .

۲) اندازه گیری ضریب اصطکاک از طریق شیب دادن سطح

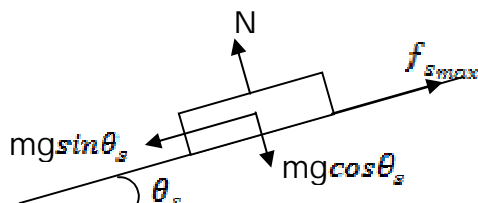
اندازه گیری ضریب اصطکاک جنبشی :



بره را به تنهایی روی سطح بدون روکش قرار می دهیم ؛ سپس به وسیله ی موتور ، زاویه ی شیب سطح را آنقدر زیاد می کنیم که با زدن ضربه های کوچک بر روی سطح ، بره با سرعت ثابت به سمت پایین شروع به حرکت کند . در این حالت ، زاویه ی شیب سطح (θ_k) را که همان زاویه ی نشان داده شده به وسیله ی نقاله است ، یادداشت می کنیم . این مراحل را ۳ بار برای سطح بدون روکش و ۳ بار برای سطح روکش دار ، تکرار می کنیم .

$$N = mg \cos \theta_k, \quad f_k = \mu_k N \rightarrow f_k = \mu_k mg \cos \theta_k, \quad f_k = mg \sin \theta_k \rightarrow mg \sin \theta_k = \mu_k mg \cos \theta_k \rightarrow \mu_k = \tan \theta_k$$

اندازه گیری ضریب اصطکاک ایستایی :



سطح را دوباره افقی می کنیم ؛ بره را به تنهایی روی سطح بدون روکش قرار می دهیم ؛ سپس به وسیله ی موتور ، زاویه ی شیب سطح را آنقدر زیاد می کنیم که بره بدون ضربه زدن به سطح ، به سمت پایین شروع به حرکت کند . در این حالت ، زاویه ی شیب سطح (θ_s) را که همان زاویه ی نشان داده شده به وسیله ی نقاله است ، یادداشت می کنیم . این مراحل را ۳ بار برای سطح بدون روکش و ۳ بار برای سطح روکش دار ، تکرار می کنیم .

$$N = mg \cos \theta_s, \quad f_{s \max} = \mu_s N \rightarrow f_{s \max} = \mu_s mg \cos \theta_s, \quad f_{s \max} = mg \sin \theta_s \rightarrow mg \sin \theta_s = \mu_s mg \cos \theta_s \rightarrow \mu_s = \tan \theta_s$$

۳) بررسی تغییر نیروی اصطکاک با تغییر مساحت تماس

همان آزمایش شماره ۲ را با سطح بدون روکش تکرار می کنیم؛ ولی این بار مساحت سطح بره را تغییر می دهیم تا اثر مساحت بر ضریب و نیروی اصطکاک را بررسی کنیم. می دانیم که از لحاظ تئوری، مساحت نباید تاثیری بر اصطکاک داشته باشد؛ حال در آزمایش این موضوع را بررسی خواهیم کرد.

۴) اندازه گیری ضریب اصطکاک از طریق تغییر شیب سطح

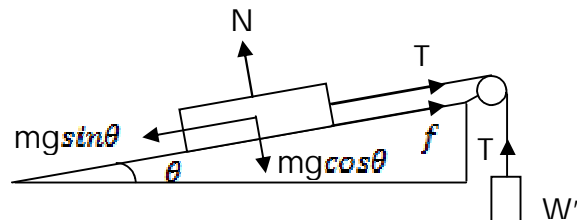
اندازه گیری ضریب اصطکاک جنبشی:

ابتدا در حالتی که سطح افقی است، بره را بر روی سطح بدون روکش قرار می دهیم و همانند آزمایش ۱ ولی اینبار بدون قرار دادن وزنه ای بر روی بره، آنقدر به جاوزنه ای وزنه می افزاییم که با زدن ضربه های کوچک به سطح، بره شروع به حرکت کند. در این حالت، نیروی کشش نخ (T) را، که برابر مجموع وزن های جاوزنه ای و وزنه هاست، یادداشت می کنیم. سپس با استفاده از موتور، زاویه ی شیب سطح را آنقدر تغییر می دهیم که با زدن ضربه های کوچک به سطح، بره در جهت مخالف و به سمت پایین سطح، شروع به حرکت کند. در این حالت، زاویه ی شیب سطح را یادداشت می کنیم. این مراحل را ۳ بار تکرار می کنیم.

اندازه گیری ضریب اصطکاک ایستایی:

دقیقا همانند قسمت قبل عمل می کنیم؛ با این تفاوت که هیچ گاه به سطح ضربه نمی زنیم و اجازه می دهیم که وزنه، خودش شروع به حرکت کند.

برای این دو قسمت، روابط زیر را داریم (به علت تشابه دو حالت، بجای f_k یا $f_{s,max}$ ، ترم کلی f ، بجای θ_k یا θ_s ، ترم کلی θ و به جای μ_k یا μ_s ، ترم کلی μ را قرار می دهیم).



$$T = W' , \quad T + f = mg \sin \theta \rightarrow W' + f = mg \sin \theta$$

$$\rightarrow f = mg \sin \theta - W' , \quad f = \mu N , \quad N = mg \cos \theta$$

$$\rightarrow \mu mg \cos \theta = mg \sin \theta - W' \rightarrow \mu = \tan \theta - \frac{W'}{mg \cos \theta}$$

جداول :

جدول ۱ - اندازه گیری ضریب اصطکاک جنبشی (نیروها بر حسب نیوتن هستند .)

| | | | | | |
|------|------|------|------|------|---------------------------------|
| ۱۰۰۰ | ۸۰۰ | ۶۰۰ | ۴۰۰ | ۲۰۰ | وزنه های اضافه شده به بره |
| ۲.۸۰ | ۲.۴۰ | ۱.۹۴ | ۱.۵۴ | ۱.۳۰ | نیروی اصطکاک سطح و سطح روکش دار |
| ۲.۷۰ | ۲.۲۰ | ۱.۷۰ | ۱.۳۰ | ۰.۹۰ | نیروی اصطکاک سطح بره و چوب |

جرم مکعب با ترازو = ۲۷۲.۵۰ گرم

جدول ۲ - اندازه گیری ضریب اصطکاک جنبشی و ایستایی (زوایا بر حسب درجه هستند .)

| بره و سطح روکش دار | | | بره و سطح چوبی | | | |
|--------------------|----|----|----------------|----|----|------------|
| ۱۳ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۰ | θ_k |
| ۱۷ | ۱۶ | ۱۵ | ۱۴ | ۱۵ | ۱۴ | θ_s |

جدول ۳ - بررسی اثر تغییر مساحت تماس بر اصطکاک (زوایا بر حسب درجه هستند .)

| سطح با مساحت کمتر بره و چوب | | | سطح وسیع تر بره و چوب | | | |
|-----------------------------|----|---|-----------------------|----|----|------------|
| ۸ | ۸ | ۹ | ۱۱ | ۱۰ | ۱۱ | θ_k |
| ۹ | ۱۰ | ۹ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۴ | θ_s |

جدول ۴ - اندازه گیری ضریب اصطکاک جنبشی و ایستایی

با استفاده از تغییر شیب سطح حرکت وزنه ها به سمت بالا

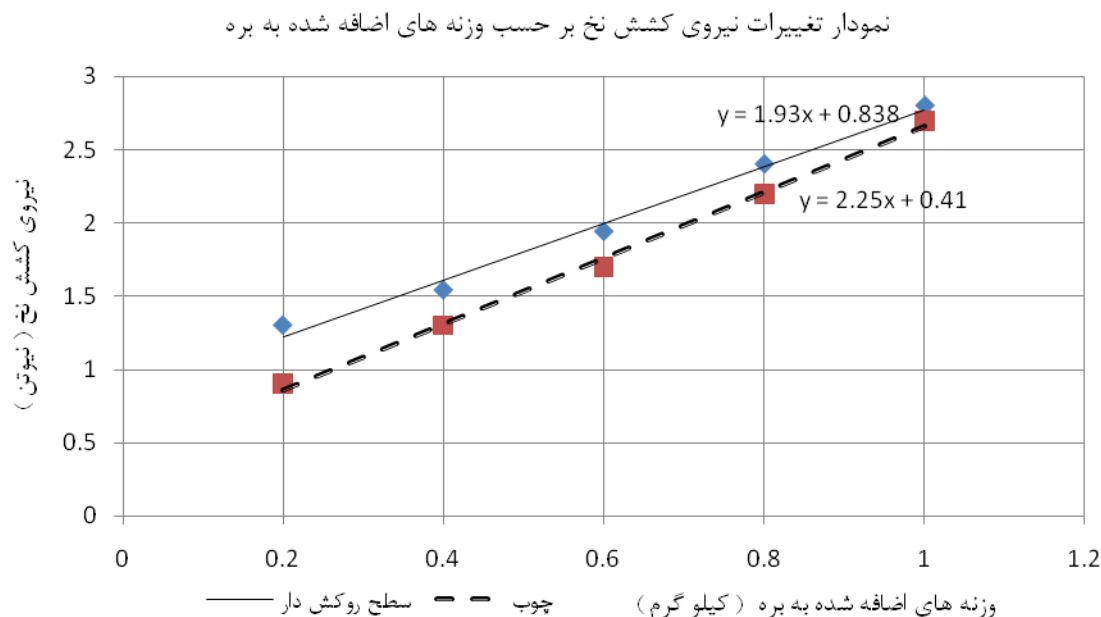
(نیروها بر حسب نیوتن و زوایا بر حسب درجه هستند .)

| بره و چوب | | | |
|-----------|------|------|------------|
| ۲۲ | ۲۲ | ۲۱ | θ_k |
| ۰.۵۶ | ۰.۵۵ | ۰.۵۶ | کشش |
| ۲۴ | ۲۴ | ۲۵ | θ_s |
| ۰.۶۱ | ۰.۵۸ | ۰.۶۰ | کشش |

خواسته ها :

خواسته ی ۱ (تحلیل داده های جدول ۱)

(الف)



همانطور که در صفحه ی ۳ اثبات شد :

$$\mu_k = \frac{W''}{W+W'}, W'' = T, W = mg, W' = m'g \rightarrow T = (\mu_k g)m' + \mu_k mg$$

پس شیب نمودار T بر حسب m' برابر با حاصلضرب شتاب گرانشی در ضریب اصطکاک جنبشی است. معادله ی بهترین خطوط گذرنده از نقاط، بر روی نمودار آمده است. اگر شتاب گرانشی را برابر ۹.۷۸ بگیریم :

$$\mu_k g = 1.93 \rightarrow \mu_k \cong \frac{1.93}{9.78} \cong 0.19$$

برای سطح روکش دار :

$$\mu_k g = 2.25 \rightarrow \mu_k \cong \frac{2.25}{9.78} \cong 0.23$$

برای چوب :

نکته ای که در اینجا وجود دارد، این است که به ازای یک وزنه ی اضافه شده به بره، طبق جدول ۱، نیروی اصطکاک برای سطح روکش دار بیشتر از سطح چوب است؛ یعنی، اگر به ازای هر وزنه ی اضافه شده، ضرایب اصطکاک را محاسبه کنیم، ضریب اصطکاک سطح روکش دار بیشتر از چوب است؛ ولی نتیجه ای که با منحنی به دست می آید، چیز دیگری را نشان می دهد! چون منحنی تغییرات نیروهای اصطکاک را مد نظر قرار می دهد که این تغییرات، برای چوب، بیشتر از سطح روکش دار است.

(ب)

طبق قسمت الف ، عرض از مبدا نمودار T بر حسب m' برابر با حاصلضرب شتاب گرانشی در ضریب اصطکاک جنبشی در جرم بره است یا به بیانی بهتر ، عرض از مبدا نمودار برابر با حاصلضرب شیب نمودار ($\mu_k g$) در جرم بره (m) است . پس جرم بره از تقسیم عرض از مبدا نمودار بر شیب نمودار بدست می آید :

$$m_{c_1} = \frac{0.828}{1.93} * 1000 gr \cong 428.197 gr \quad , \quad m_{c_2} = \frac{0.41}{2.25} * 1000 gr \cong 182.22 gr$$

$$\rightarrow m_c = \frac{m_{c_1} + m_{c_2}}{2} \cong \frac{428.197 + 182.22}{2} gr \cong 305.21 gr$$

(ج)

جرم بدست آمده از طریق منحنی ، بیشتر از جرم اندازه گیری شده بوسیله ی ترازو است و درصد خطای نسبی برابر است با :

$$E_{rel}(\%) = \frac{m_c - m}{m} \cong \frac{305.21 - 272.50}{272.50} * 100\% \cong 12.11\%$$

خواسته ی ۲ (تحلیل داده های جدول ۲)

برای بره و چوب (بدون روکش) :

$$\overline{\theta_k} = \frac{10 + 11 + 10}{3} \cong 10 \rightarrow \mu_k = tg \overline{\theta_k} \cong tg 10 \cong 0.18$$

$$\overline{\theta_s} = \frac{14 + 15 + 14}{3} \cong 14 \rightarrow \mu_s = tg \overline{\theta_s} \cong tg 14 \cong 0.25$$

برای بره و سطح روکش دار :

$$\overline{\theta_k} = \frac{12 + 11 + 13}{3} = 12 \rightarrow \mu_k = tg \overline{\theta_k} = tg 12 \cong 0.21$$

$$\overline{\theta_s} = \frac{15 + 16 + 17}{3} = 16 \rightarrow \mu_s = tg \overline{\theta_s} = tg 16 \cong 0.29$$

همانطور که دیده می شود ، بر خلاف انتظار و بر خلاف خواسته ی ۱ ، ضرایب اصطکاک برای سطح روکش دار از سطح چوبی بدون روکش ، بیشتر به دست آمد که این نتیجه با توضیح نوشته شده در قسمت الف خواسته ی ۱ مطابقت دارد .

خواسته ی ۳ (تحلیل داده های جدول ۳)

برای بره و سطح وسیع تر چوب :

$$\overline{\theta_k} = \frac{11 + 10 + 11}{3} \cong 11 \rightarrow \mu_k = tg \overline{\theta_k} \cong tg 11 \cong 0.19$$

$$\overline{\theta_s} = \frac{14 + 15 + 15}{3} \cong 15 \rightarrow \mu_s = tg \overline{\theta_s} \cong tg 15 \cong 0.27$$

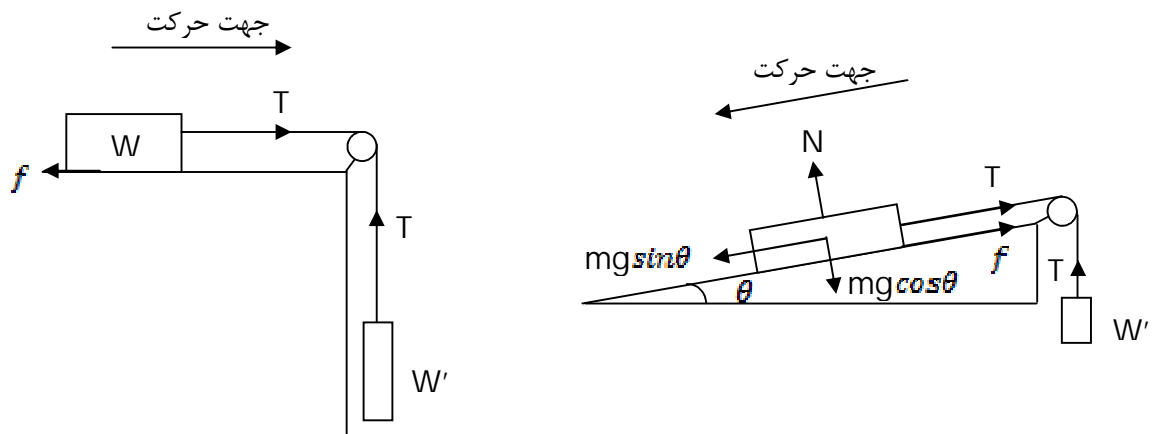
برای بره و سطح کوچکتر چوب :

$$\overline{\theta_k} = \frac{9 + 8 + 8}{3} = 8 \rightarrow \mu_k = \operatorname{tg} \overline{\theta_k} \cong \operatorname{tg} 8 \cong 0.14$$

$$\overline{\theta_s} = \frac{9 + 10 + 9}{3} = 9 \rightarrow \mu_s = \operatorname{tg} \overline{\theta_s} \cong \operatorname{tg} 9 \cong 0.16$$

انتظار می رفت که مقادیر ، با هم برابر شوند ؛ چون ضریب و نیروی اصطکاک ، به مساحت سطوح وابسته نیست ؛ ولی مقادیری که در این بخش به دست آمدند ، با هم اختلاف نسبتا زیادی دارند که به نظر می رسد این اختلاف به خاطر تفاوت جنس سطوح وجه های مختلف بره باشد . همانطور که در ابتدای آزمایش گفتیم ، ما تمام آزمایش ها را بر روی محدوده ای معین از سطح چوب انجام می دهیم ؛ چون اصطکاک قسمت های مختلف چوب ، متفاوت است . در مورد بره هم همین موضوع صادق است ؛ به همین دلیل ما در تمام آزمایش ها از یک وجه ثابت و معین از بره استفاده کردیم .

خواسته ی ۴ (تحلیل داده های جدول ۴)



روابط مورد نیاز ، در صفحه ی ۴ اثبات شده اند ؛ فقط برای محاسبه ، از داده های سطرهای جدول ۴ میانگین می گیریم و به جای جرم بره ، مقدار بدست آمده از طریق اندازه گیری را قرار می دهیم :

$$\overline{\theta_k} \cong 22, \overline{W'_1} \cong 0.56, \overline{\theta_s} \cong 24, \overline{W'_2} \cong 0.60, g = 9.78 \text{ m/s}^2$$

$$\rightarrow \mu_k = \operatorname{tg} \overline{\theta_k} - \frac{\overline{W'_1}}{mg \cos \overline{\theta_k}} \cong \operatorname{tg} 22 - \frac{0.56}{0.2725 * 9.78 * \cos 22} \cong 0.18$$

$$\rightarrow \mu_s = \operatorname{tg} \overline{\theta_s} - \frac{\overline{W'_2}}{mg \cos \overline{\theta_s}} \cong \operatorname{tg} 24 - \frac{0.60}{0.2725 * 9.78 * \cos 24} \cong 0.20$$

سوالات :

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

زیرا اولاً وقتی سطح جاده خیس باشد ، ضریب اصطکاک ایستایی به شدت کاهش می یابد . ثانیاً وقتی که اتومبیل با سرعت مشخصی در حال حرکت باشد و ناگهان ترمز زده شود ، آهنگ تغییرات سرعت زاویه ای چرخ ها ، بسیار زیاد می شود به طوریکه مقدار $m r \alpha$ زیاد می شود و چون ضریب اصطکاک کم است ، از بیشینه ی نیروی اصطکاک ایستایی نیز تجاوز می کند و چرخها بر روی جاده سر می خورند .

(۲) آیا نیروی اصطکاک ایستایی ثابت است؟

خیر ، بر خلاف نیروی اصطکاک جنبشی ، نیروی اصطکاک ایستایی ثابت نیست و به نیروی وارد شده بر جسم بستگی دارد و هر چه نیروی وارد بر جسم بیشتر باشد ، نیروی اصطکاک ایستایی نیز بیشتر می شود تا جایی که به حداکثر مقدار خود ، یعنی $f_{s,max} = \mu_s N$ برسد . اگر نیروی وارد بر جسم از این مقدار بیشتر شود ، اصطکاک به نوع جنبشی تبدیل می شود .

(۳) یک خط کش یک متری را روی دو انگشت خود نگه دارید به طوری که یک انگشت در ۱۰ سانتیمتری و انگشت دیگر در ۷۰ سانتیمتری از ابتدای آن قرار بگیرد. سعی کنید دو انگشت خود را به تدریج به یکدیگر نزدیک کنید. آزمایش را در حالتی که انگشت ها در نقاط مختلف خط کش باشند تکرار کنید و نتیجه را شرح دهید.

(در صورت سوال ، خواسته شده بود که انگشت دیگر در ۷۰ سانتی متری وسط خط کش قرار بگیرد که چون خط کش ، ۱ متری است ، امکان ندارد . بنابراین به ناچار کلمه ی وسط را به ابتدا تغییر دادیم .)

فرض می کنیم که ضریب اصطکاک بخشهای مختلف خط کش ، یکسان است . به خاطر اینکه انگشت اول ، دورتر از مرکز جرم خط کش (که فرض می کنیم در وسط خط کش باشد) قرار دارد ، وزن کمتری از خط کش را نسبت به انگشت دیگر تحمل می کند ؛ بنابراین نیروی عمودی سطح در مکان انگشت اول و در نتیجه نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه برای آن ، کمتر از انگشت دیگر است . پس اگر به دو انگشت ، نیروهای یکسان و در خلاف جهت هم و به سوی وسط خط کش وارد کنیم ، ابتدا هر دو انگشت ساکن می مانند . نیرو را آنقدر افزایش می دهیم تا انگشت اول شروع به حرکت کند . با نزدیک شدن انگشت اول به وسط خط کش ، نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه ی آن ، افزایش و نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه ی انگشت دوم ، افزایش می یابد . بالاخره در جایی که تقریباً قرینه ی مکان اولیه ی انگشت دوم نسبت به وسط خط کش است ، انگشت اول می ایستد و انگشت دوم شروع به حرکت می کند . این توقف یک انگشت و شروع به حرکت دیگری ، آنقدر ادامه می یابد تا دو انگشت تقریباً در وسط خط کش به هم برسند .

(۴) چرا برای بدست آوردن ضریب اصطکاک جنبشی در آزمایش ها گفته شده است چند ضربه ی کوچک به سطح بزنید ولی در اندازه گیری ضریب اصطکاک ایستایی نباید این کار را بکنید؟

با زدن ضربه به سطح ، درگیری بین ذرات جسم و سطح ، برطرف شده ، جسم کمی حرکت می کند ؛ اگر در ادامه ی حرکت ، با سرعت ثابت به حرکت ادامه دهد ، طبق قانون اول نیوتن ، برآیند نیروهای وارد بر جسم صفر است و نیروهایی که ما به جسم وارد می کنیم ، برابر نیروی اصطکاک جنبشی آن خواهد شد ؛ ولی برای اندازه گیری ضریب اصطکاک ایستایی ، جسم باید بدون هیچ کمکی ، خودش از حال سکون شروع به حرکت کند ؛ پس نیازی به ضربه نیست .