۲ دینامیک (نیرو شناسی)

دینامیک شاخه‌ای از فیزیک است که در آن عامل ایجاد شتاب در اجسام بررسی می‌شود. این عامل، نیرو است. می‌گوییم نیرو به یک جسم وارد می‌شود و می‌توان نیروها را به صورت‌های زیر توصیف کرد:

- نیرو عاملی است که اگر بر یک جسم وارد شود، باعث تغییر در وضعیت حرکت آن جسم می‌شود.
- نیرو، بر همکنش دو جسم بر یکدیگر است. این تأثیر ممکن است ناشی از تماس دو جسم باشد و یا دو جسم از راه دو بر یکدیگر نیرو وارد کنند.
- نیرو کمیتی برداری است و دارای اندازه، راستا و جهت است.

۲-۱ قوانین نیوتون

برای بررسی نیروه و ارتباط آن با حرکت و ...، قوانین زیر توسط نیوتون ارائه شده است:

۱. قانون اول نیوتون

تا قبل از آنکه مکانیک نیوتونی پایه‌ریزی شود، تصور می‌شد برای این‌که جسم بتواند به حرکت با سرعت ثابت خود ادامه دهد، نیرو لازم است. آن زمان تصوّر می‌شد که یک جسم وقتی در *حالت طبیعی* خود قرار دارد که ساکن باشد و در این وضعیت برای حرکت با سرعت ثابت، باید ظاهراً جسم به نحوی، رانده شود. در غیر این‌صورت جسم باید بنابر طبیعت خود بایستد.

امّا با آزمایشاتی که انجام شد، مشخّص شد که این تصوّر صحیح نیست؛ زیرا یک جسم وقتی با سرعت ثابتی بر روی سطح‌های متفاوتی در حرکت است، پس از طی مسافت‌های مختلفی ـ که به جنس سطح‌ها بستگی دارد ـ متوقف می‌شود و هر قدر سطح مورد نظر سُرتر باشد، جسم مسافت بیشتری را قبل از توقف می‌پیماید. یعنی می‌توان نتیجه گرفت برای این که جسم با سرعت ثابت حرکت کند، نیازی به نیرو نیست. به این ترتیب قانون اوّل نیوتون چنین بیان می‌شود:

یک جسم حالت سکون و یا حرکت یکنواخت روی خط راست خود را حفظ می‌کند، مگر آن‌که تحت تأثیر نیرویی مجبور به تغییر آن حالت شود.

از قانون اوّل نیوتون نتیجه می‌شود که: اگر به جسمی نیرو وارد نشود (یا برآیند نیروهای وارد بر جسم، صفر باشد)، چنانچه جسم ساکن باشد، ساکن می‌ماند و اگر در حرکت باشد، به حرکت خود با سرعت ثابت روی خط راست ادامه می‌دهد.

◆ مثال ۱

شخصی در اتومبیلی با سرعت ثابت حرکت می‌کند، نشسته است. توضیح دهید.

الف) چرا وقتی راننده ترمز می‌کند، شخص به جلو پرتاب می‌شود؟

ب) چرا وقتی راننده سرعت اتومبیل را افزایش می‌دهد، شخص به طرف عقب رانده می‌شود و به صندلی می‌چسبد؟

ج) چرا وقتی اتومبیل تغییر جهت می‌دهد، شخص به طرف بیرون پرتاب می‌شود؟

نکته: از قانون اوّل نیوتون نتیجه می‌شود که اجسام تمایل دارند وضعیت سکون و یا حرکت یکنواخت روی خط راست خود را حفظ کنند. به این تمایل اجسام، لختی گفته می‌شود. به همین دلیل به قانون اوّل، قانون لختی یا قانون اینرسی نیز گفته می‌شود.

۲. قانون دوّم نیوتون

از قانون اوّل نیوتون استنباط می‌شود که اگر بر جسم نیرو وارد شود، نه تنها جسم ساکن نمی‌ماند، بلکه حرکتش شتابدار خواهد بود. رابطه‌ی میان نیروی وارد بر جسم، جرم جسم و شتاب آن به صورت قانون دوّم نیوتون بیان می‌شود:

اگر به یک جسم نیروهایی وارد شود، جسم شتابی می‌گیرد که با برآیند نیروهای وارد بر جسم، نسبت مستقیم دارد و با آن هم‌جهت است و با جرم جسم نسبت وارون دارد.

$$\vec{a}=\frac{\vec{F}_{\text{برآیند}}}{m} \Rightarrow \vec{F}_{\text{برآیند}}=m\vec{a} \qquad (۲-۱)$$

معمولاً برای سهولت، نیروی برآیند ($\vec{F}_{\text{برآیند}}$) را به صورت $\Sigma\vec{F}$ نمایش داده و قانون دوم نیوتون را به صورت زیر به کار می‌بریم:

$$\vec{a}=\frac{\Sigma\vec{F}}{m} \Rightarrow \Sigma\vec{F}=m\vec{a}$$

Sanatisharif

در این رابطه، جرم بر حسب کیلوگرم (kg)، شتاب بر حسب متر بر مجذور ثانیه ($\frac{m}{s^2}$) و نیرو بر حسب $kg\frac{m}{s^2}$ است که آن را نیوتون می‌نامیم و با نماد N نشان می‌دهیم.

مثال ۵

جسمی به جرم $5kg$ تحت تأثیر سه نیروی $\vec{F}_1=-15\vec{i}+8\vec{j}$، $\vec{F}_2=-21\vec{i}+19\vec{j}$ و $\vec{F}_3$ قرار گرفته و شتاب $\vec{a}=-4\vec{i}+3\vec{j}$ پیدا کرده است. (همه‌ی کمیت‌ها بر حسب یکاهای SI بیان شده است)

الف) اندازه‌ی نیروی $\vec{F}_3$ را تعیین کنید.

ب) اگر نیروی $\vec{F}_3$ حذف شود، شتاب جسم چند برابر خواهد شد؟

مثال ۳

جسمی تحت تأثیر سه نیروی $\vec{F}_1=a\vec{i}+3\vec{j}$، $\vec{F}_2=4\vec{i}-3\vec{j}$ و $\vec{F}_3=-\vec{i}+\beta\vec{j}$ قرار دارد (نیروها برحسب نیوتون هستند) و جسم ساکن است. اگر نیروی $\vec{F}_1$ را حذف کنیم، شتاب جسم، a_1 و اگر نیروی $\vec{F}_2$ را حذف کنیم، شتاب جسم، a_2 می‌شود. نسبت $\frac{a_2}{a_1}$ را بیابید.

نکته: رابطه‌ی مربوط به قانون دوم نیوتون را می‌توان به صورت غیر برداری $|\Sigma\vec{F}|=m\vec{a}$ نیز مورد استفاده قرار داد.

مثال ۴

نیروی F، به جسمی به جرم m، شتاب a و به جسمی به جرم $m-2$، شتاب $\frac{3}{2}a$ می‌دهد. m را بیابید.

مثال ۵

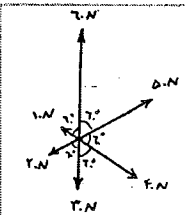
نیروی F، به جسمی به جرم m_1، شتاب $2\frac{m}{s^2}$ و به جسمی به جرم m_2 شتاب $3\frac{m}{s^2}$ می‌دهد. این نیرو به جسمی به جرم m_1+m_2 چه شتابی می‌دهد؟

مثال ۶

به جسمی به جرم m، دو نیروی متعامد افقی $3F$ و $4F$ وارد می‌شود. اگر نیروی بزرگ‌تر را حذف کنیم، شتاب جسم چند برابر می‌شود؟

مثال ۷

به جسمی به جرم $40kg$، شش نیروی نشان داده شده در شکل وارد می‌شود. اندازه‌ی شتاب جسم چه‌قدر است؟



مثال ۸

نیروی $F_1=8N$، $F_2=6N$ و $F_3=12N$ به جسمی به جرم $4kg$ اثر می‌کند و جسم ساکن است. هرگاه نیروی F_3 حذف شود، شتاب جسم چه‌قدر می‌شود؟

مثال ۹

در مثال قبل، اگر بدون تغییر جهت، اندازه‌ی نیروهای F_1 و F_2 دو برابر شود، شتاب جسم چند متر بر مجذور ثانیه می‌شود؟

Sanatisharif.ir
مجری طرح توسعه عدالت آموزشی
www.sanatisharif.ir

مثال ۱۰

بردار مکان متحرکی در SI به صورت $\vec{r}=(2/5t^2+3t-1)\vec{i}+(t^2+t-2)\vec{j}$ و جرم جسم $2\,kg$ است. اندازه‌ی برآیند نیروهای وارد بر جسم را هنگامی که سرعت متحرک $13\sqrt{2}\,\frac{m}{s}$ می‌شود، تعیین کنید.

مثال ۱۱

اتومبیلی به جرم ۲ تن در جاده‌ای افقی با سرعت $72\,\frac{km}{h}$ حرکت می‌کند. در یک لحظه، راننده ترمز می‌کند و اتومبیل پس از $10\,s$ متوقف می‌شود. برآیند نیروهایی که اتومبیل را از حرکت بازداشته چند نیوتون است؟

مثال ۱۲

یک بالون تحقیقاتی به جرم کلی m در راستای قائم با شتاب a فرود می‌آید. چه جرمی از وزنه‌های تعادل، باید از بالون بیرون ریخته شود تا بالون با شتاب ثابت a به طرف بالا حرکت کند؟ (از نیروی مقاومت هوا با بالون صرف نظر می‌شود و نیروی بالا بر بالون در هر دو حالت ثابت است.)

۳. قانون سوم نیوتون

هنگامی که دو جسم یکدیگر را می‌کشند و یا می‌رانند، می گوییم با هم اندرکنش دارند. بر طبق قانون سوم نیوتون، **اگر دو جسم با هم اندرکنش داشته باشند، نیروهایی که به یکدیگر وارد می کنند، همیشه هم اندازه و در خلاف جهت هم هستند.** به عبارت دیگر، اگر جسم A به جسم B نیرویی وارد کند، جسم B نیز به جسم A نیرویی درخلاف جهت و هم اندازه‌ی آن وارد می‌کند.

نکته: در استفاده از قانون سوم نیوتون باید توجه داشت که نیروهای عمل و عکس العمل هر چند مساوی و در خلاف جهت هستند، هیچ‌گاه یکدیگر را خنثی نمی‌کنند؛ زیرا این دو نیرو به دو جسم مختلف وارد می‌شوند.

مثال ۱۳

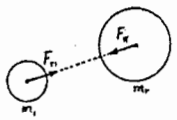
شخصی به جرم $80\,kg$ که روی سطح افقی بدون اصطکاکی ساکن است، ناگهان توپی به جرم $160\,g$ را با سرعت افقی $20\,\frac{m}{s}$ به سمت جلو پرتاب می‌کند. این شخص با چه سرعتی و در چه جهتی رانده می‌شود؟

۲-۲ معرفی نیروها

در ادامه‌ی بحث، به معرفی تعدادی از نیروها می‌پردازیم که در مکانیک مطرح می‌شود. این نیروها عبارتند از: نیروی گرانش نیوتون، نیروی عمودی سطح، نیروی اصطکاک (ایستایی و جنبشی)، نیروی کشش نخ و نیروی کشش فنر.

نیروهایی مانند نیروی الکتریکی، نیروی مغناطیسی و نیروی هسته‌ای نیز در بخش‌های دیگر فیزیک بررسی می‌شود.

۱. نیروی گرانش نیوتون



برطبق قانون گرانش نیوتون، هرگاه دو جسم به جرم‌های m_1 و m_2 در فاصله‌ی r از یکدیگر قرار داشته باشند، یکدیگر را با نیرویی می‌رُبایند که این نیرو با حاصلضرب جرم دو جسم، رابطه‌ی مستقیم و با مجذور فاصله‌ی آنها از یکدیگر رابطه‌ی وارون دارد. یعنی:

$$F=G\frac{m_1 m_2}{r^2} \qquad (۲-۲)$$

در این رابطه، G، ثابت جهانی گرانش نام دارد و مقدار آن $G=6/67\times10^{-11}\,\frac{N\,m^2}{kg^2}$ است.

مثال ۱۴

جرم زمین و ماه به ترتیب $6\times10^{24}\,kg$ و $7/4\times10^{22}\,kg$ و فاصله‌ی میان ماه و زمین، $4\times10^5\,km$ است. در چه فاصله‌ای از مرکز ماه، نیروی گرانشی ماه و زمین با هم برابر است؟

Sanatisharif.ir

۲. نیروی وزن:

هنگامی که جسمی در نزدیکی سیّاره یا جسم با جرم زیادی قرار داشته باشد، از طرف آن جسم کشیده می‌شود. این نیرو را نیروی وزن جسم می‌نامند و معمولاً آن را با W (*Weight*) نشان می‌دهند. این نیرو را در دو وضعیّت بررسی می‌کنیم:

الف) جسم روی سطح سیّاره:

در این حالت، فاصله‌ی مراکز دو جسم، عملاً شعاع سیّاره است و بنابراین بر طبق قانون گرانش نیوتون می‌توان نوشت:

$$F = G\cdot\frac{Mm}{R^2} \qquad (۲-۳)$$

حاصل عبارت $\frac{GM}{R^2}$ برای هر سیّاره مقدار ثابتی است که آن را شتاب جاذبه در سطح سیّاره می‌نامند و با g نمایش می‌دهند. بنابراین:

$$g = \frac{GM}{R^2} \qquad (۲-۴)$$

مقدار g در حالتی که جسم روی سطح زمین قرار داشته باشد، برابر است با:

$$g_e = \frac{GM_e}{R_e^2} \simeq ۹/۸\,\frac{m}{s^2}$$

و در این‌صورت برای تعیین نیروی وزن جسمی به جرم m در نزدیکی سطح سیاره خواهیم داشت:

$$W = mg \qquad (۲-۵)$$

◈ مثال ۱۵

جرم کره‌ی زمین تقریباً ۸۰ برابر جرم کره‌ی ماه و شتاب گرانش در سطح زمین تقریباً ۶ برابر شتاب گرانش در سطح ماه است. شعاع زمین تقریباً چند برابر شعاع ماه است؟

◈ مثال ۱۶

جرم مرّیخ تقریباً ۰/۱ جرم زمین و شعاع مریخ نصف شعاع زمین است. وزن شخصی به جرم ۵۰kg، در کره‌ی مرّیخ تقریباً چند نیوتون است؟

◈ مثال ۱۷

شتاب گرانش در سطح سیّاره‌ای که جرم و حجم آن، ۸ برابر جرم و حجم کره زمین است، چند برابر شتاب گرانش در سطح زمین است؟

ب) جسم در ارتفاع h از سطح سیّاره:

در این حالت، فاصله‌ی جسم تا مرکز سیّاره را می‌توان به صورت $r = R+h$ نوشت. بنابراین بر طبق قانون جهانی گرانش نیوتون خواهیم داشت:

$$F = G\cdot\frac{m_1\cdot m_2}{(R+h)^2}$$

اگر بخواهیم مشابه حالت قبل، نیروی وزن در ارتفاع h از سطح سیّاره را به صورت $W_h = mg_h$ بنویسیم، در این‌صورت:

$$g_h = G\frac{M}{(R+h)^2} \qquad (۲-۶)$$

نکته: با توجّه به روابطی که برای g و g_h به‌دست آمد، می‌توان نوشت:

$$\frac{W}{W_h} = \frac{g}{g_h} = \frac{G\frac{M}{R^2}}{G\frac{M}{(R+h)^2}} = \frac{(R+h)^2}{R^2} = \left(\frac{R+h}{R}\right)^2$$

$$\frac{W}{W_h} = \frac{g}{g_h} = \left(۱+\frac{h}{R}\right)^2 \qquad (۲-۷)$$

◈ مثال ۱۸

درچه فاصله‌ای از سطح زمین (بر حسب R_e، شعاع این کره)، شتاب گرانش ۴٪ مقدار آن در سطح کره زمین است؟

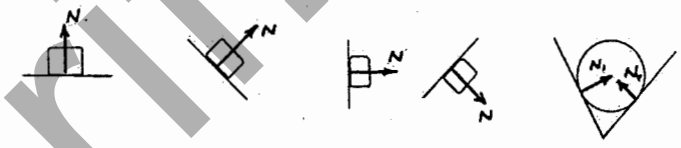
◈ مثال ۱۹

وزن سفینه‌ای در سطح سیّاره‌ی پلوتون ۱۲۵۰N، و در فاصله‌ی ۴۰۰ کیلومتری سطح آن ۸۰۰N است. قطر این سیّاره چند کیلومتر است؟

Sanatisharif.ir
مجری طرح توسعه عدالت آموزشی
www.sanatisharif.ir

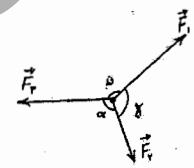
۳. نیروی عمودی سطح (تکیه‌گاه):

هرگاه جسمی بر روی سطحی قرار داشته باشد، از طرف سطح نیرویی در راستای عمود بر سطح و به طرف خارج سطح، به آن جسم وارد می‌شود که آن را نیروی عمودی سطح یا نیروی عمودی تکیه‌گاه می‌نامیم و معمولاً آن را با N نمایش می‌دهیم. هیچ رابطه‌ای برای تعیین اندازه‌ی این نیرو وجود ندارد و مقدار آن فقط به کمک قوانین نیوتون تعیین می‌شود.



نکته: عکس العمل نیروی عمودی تکیه‌گاه، نیرویی است که از طرف جسم بر سطح، به صورت عمودی و به طرف درون سطح وارد می‌شود و این نیرو هیچ ارتباطی با نیروی وزن جسم ندارد. لذا هیچ‌گاه نیروی وزن، عکس العمل نیروی عمودی سطح نیست.

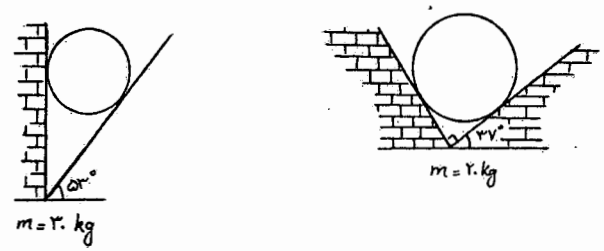
نکته: اگر سه نیروی $\vec{F}_1$، $\vec{F}_2$ و $\vec{F}_3$ مطابق شکل بر جسمی وارد می‌شود و برآیند این نیروها صفر شود، بر طبق قضیه‌ی سینوس‌ها می‌توان نوشت:



$$\frac{\sin\alpha}{F_1}=\frac{\sin\beta}{F_2}=\frac{\sin\gamma}{F_3} \qquad (۸-۲)$$

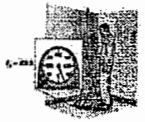
مثال ۲۰

در هر کدام از شکل‌های زیر، نیروهایی که از طرف سطح‌ها به جسم وارد می‌شود را تعیین کنید.



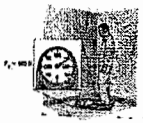
نکته: به نیرویی که به سطح تکیه‌گاه خود وارد می‌کند، وزن ظاهری جسم گفته می‌شود، که هم اندازه‌ی نیروی عمودی تکیه‌گاه است. هنگامی که جسم روی سطح افقیِ ساکن قرار داشته باشد یا سطح افقی به طرف بالا یا پایین با سرعت ثابت حرکت کند (مانند زمانی که جسم، درون آسانسور قرار دارد و آسانسور با سرعت ثابت حرکت می‌کند)، وزن ظاهری با وزن واقعی برابر است: $N=mg$

اما اگر سطح با شتاب ثابت حرکت کند، وزن ظاهری با وزن واقعی برابر نخواهد شد و در این‌صورت می‌توان دو حالت را تصوّر کرد:



الف) تکیه‌گاه با شتاب ثابت به طرف بالا حرکت کند:

$$N-mg=ma \;\Rightarrow\; N=m(g+a)$$



ب) تکیه‌گاه با شتاب ثابت به طرف پایین حرکت کند:

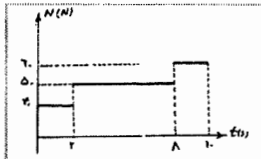
$$mg-N=ma \;\Rightarrow\; N=m(g-a)$$

هنگام استفاده از این دو رابطه باید توجّه داشت که برای حالتی که حرکت تند شونده است، $a>0$ و برای حالتی که حرکت کند شونده است، $a<0$ در نظر گرفته شود.

مثال ۲۱

شخصی به جرم $80\,kg$ روی یک ترازو، درون آسانسوری ایستاده است. آسانسور قسمتی از مسیر را با شتاب ثابت $1/5\,\frac{m}{s^2}$ به طرف بالا می‌رود و سپس حرکت خود را با شتاب $2/0\,\frac{m}{s^2}$ کند کرده و متوقف می‌شود. اختلاف وزنی که ترازو در این دو حالت نشان می‌دهد، چند نیوتون است؟

مثال ۲۲



نمودار وزن ظاهری بر حسب زمان برای جسمی که درون آسانسوری قرار دارد و آسانسور از حال سکون به طرف پایین شروع به حرکت می‌کند، مطابق شکل مقابل است. نمودار سرعت ـ زمان را برای این آسانسور رسم کنید (جرم این جسم $5\,kg$ است.)

Sanatisharif.ir

مثال ۲۳

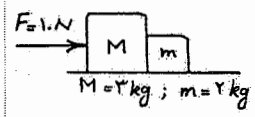
شخصی به جرم $48kg$ درون آسانسوری روی یک ترازو ایستاده است. اگر ترازو وزن او را $600N$ نشان دهد، در مورد شتاب آسانسور و جهت حرکت آن چه می‌توان گفت؟

نکته: هنگام استفاده از قوانین نیوتون در حل مسائل دینامیک ...

- ابتدا باید جسم یا اجسام مورد مطالعه را مشخّص نماییم.
- سپس نیروهای وارد بر جسم یا مجموعه‌ی اجسام مورد نظر را رسم کنیم (توجّه داریم که در این حالت، نیروهای داخلی دیگر رسم نمی‌شوند.)
- پس از آن یک دستگاه مختصات مناسب برای توصیف حرکت در نظر می‌گیریم.
- و در نهایت تعیین می‌کنیم که جسم در راستای محورهای مختصات چه نوع حرکتی دارد (سکون، حرکت یکنواخت و حرکت شتاب‌دار) و متناسب با آن قوانین نیوتون را به کار می‌بریم.

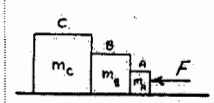
مثال ۲۴

در شکل مقابل، سطح افقی بدون اصطکاک است. نیروی بین دو جسم در سطح تماس آن‌ها چند نیوتون است؟



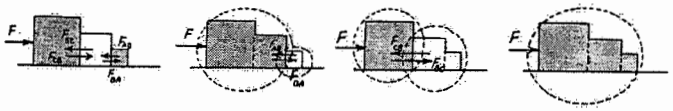
مثال ۲۵

در شکل مقابل، اصطکاک سطح افقی ناچیز و نیروی افقی به وزن A وارد می‌شود. اگر اندازه‌ی نیرویی که وزنه B به وزنه‌ی A وارد می‌کند، ۱۵ نیوتون باشد، نیرویی که وزنه‌ی B به وزنه‌ی C وارد می‌کند، چند نیوتون است؟



$m_A=1kg$ ، $m_B=2kg$ ، $m_C=3kg$

نکته: همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد، قوانین نیوتون را می‌توان برای مجموعه‌ای دلخواه از اجسام نیز به کار برد. به طور مثال، برای مثال ۲۵، می‌توانیم روابط زیر را مورد استفاده قرار دهیم:



$$a=\frac{F_{AB}}{m_A}=\frac{F_{BC}-F_{AB}}{m_B}=\frac{F-F_{BC}}{m_C}=\frac{F-F_{AB}}{m_B+m_C}=\frac{F_{BC}}{m_A+m_B}=\frac{F-F_{BC}}{m_C}=\frac{F}{m_A+m_B+m_C}$$

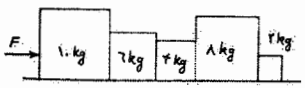
بنابراین در حل هر مسأله، می‌توانیم از روابط متعددی کمک بگیریم و این‌که در چه زمانی از چه رابطه‌ای استفاده کنیم، به مهارت ما بستگی خواهد داشت!

مثال ۲۶

مثال ۲۵ را به کمک نکته‌ی بالا مجدداً حل کنید.

مثال ۲۷

در شکل مقابل، از کلیه‌ی اصطکاک‌ها صرف نظر می‌شود. اگر نیرویی که جسم ۴ کیلوگرمی به جسم ۶ کیلوگرمی وارد می‌کند، ۱۴ نیوتون باشد،

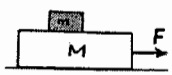


الف) نیروی F چند نیوتون است؟

ب) هر کدا از جسم‌ها، چه نیرویی به جسم مجاور خود وارد می‌کند؟

۴. نیروی اصطکاک:

هنگامی که بخواهیم دو جسم را بر روی یکدیگر به حرکت در آوریم، در سطح تماس دو جسم، نیرویی در امتداد سطح ایجاد می‌شود که تمایل دارد از حرکت آنها بر روی هم جلوگیری کند. این نیرو را نیروی اصطکاک می‌نامند.



توجّه به این نکته بسیار مهم است که نیروی اصطکاک، در مقابل حرکت یک جسم نسبت به جسم دیگر (مثلاً سطح تکیه‌گاه) مخالفت می‌کند، امّا گاهی اوقات، خود این نیرو سبب حرکت جسم خواهد شد!

برای مثال، در شکل مقابل، اگر اصطکاکی بین دو جسم وجود نداشته باشد، جسم بالای حرکت نخواهد کرد. یا مثلاً اگر اصطکاک بین لاستیک

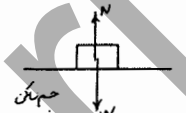
Sanatisharif.ir

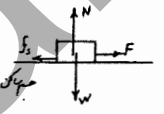
اتومبیل و سطح جاده وجود نداشته باشد، چرخ‌های اتومبیل در جای خود می‌چرخند و اتومبیل حرکت نخواهد کرد. راه رفتن ما بر روی سطح زمین نیز به کمک نیروی اصطکاک صورت می‌گیرد.

معمولاً نیروی اصطکاک میان دو جسم را در دو وضعیّت بررسی می‌کنند؛ زیرا رفتار این نیرو، تابع این وضعیّت است:

الف) اصطکاک ایستایی:

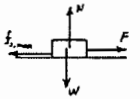
زمانی که جسم نسبت به سطح تیکه‌گاهش حرکت نکند، نیروی اصطکاک را اصطکاک ایستایی می‌نامند. مقدار این نیرو را فقط می‌توان به کمک قوانین نیوتون تعیین کرد و در حالت کلی رابطه‌ی خاصی برای آن وجود ندارد. برای درک ماهیّت این نیرو، جسمی را در نظر می‌گیریم که روی یک سطح افقی در حال سکون قرار دارد. نیروهای وارد بر این جسم (N و W) با یکدیگر برابرند و جسم در تعادل خواهد بود و در این حالت، $f_s = 0$ است. اکنون اگر نیروی افقی F را به جسم وارد کنیم و جسم همچنان ساکن باشد، در این‌صورت با توجّه به قوانین نیوتون می‌توان نتیجه گرفت:





$$\Sigma \vec{F}_x = 0 \Rightarrow \quad F - f_s = 0 \quad \Rightarrow \quad f_s = F$$

اگر در همین حالت، نیروی F را افزایش دهیم، تا زمانی که جسم ساکن است، نیروی اصطکاک ایستایی نیز به تدریج افزایش می‌یابد و در هر حالت نیروی اصطکاک ایستایی، با نیروی افقی وارد بر جسم برابر است.



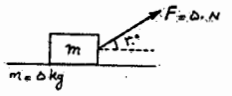
این وضعیّت تا زمانی که جسم در آستانه‌ی حرکت قرار گیرد ادامه خواهد داشت. در این موقعیّت نیروی اصطکاک ایستایی در حالت بیشینه خواهد بود و داریم:

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

در این رابطه، μ_s ضریب اصطکاک ایستایی نام دارد که کمیّتی بدون واحد است و مقدار آن به جنس دو سطح بستگی دارد.

مثال ۲۸

در شکل مقابل، جسم در آستانه‌ی حرکت است.

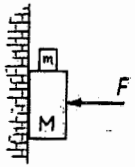


الف) ضریب اصطکاک ایستای سطح را تعیین کنید.

ب) اگر نیروی F را نصف کنیم، نیروی اصطکاک چند نیوتون می‌شود؟

مثال ۲۹

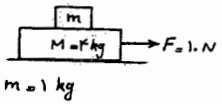
در شکل مقابل، حداکثر جرم m چه‌قدر باشد تا جرم M حرکت نکند؟



$$F = 200\,\text{N} \quad , \quad M = 4\,\text{kg} \quad , \quad \mu_s = 0/2$$

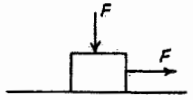
مثال ۳۰

در شکل مقابل، شتاب حرکت هر دو جسم با هم برابر است. حداقل ضریب اصطکاک ایستایی بین دو جسم چه‌قدر است؟ (سطح افقی اصطکاک ندارد)

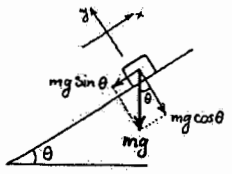


مثال ۳۱

در شکل مقابل، وزن جسم ۲۰ نیوتون و هر یک از نیروهای F ، برابر $5\,\text{N}$ است. اگر جسم در آستانه‌ی حرکت باشد، ضریب اصطکاک ایستایی بین جسم و سطح را بیابید.



نکته: اگر یک جسم روی سطح شیب‌دار قرار داشته باشد و بخواهد روی این سطح حرکت کند، مناسب است دستگاه مختصات را به گونه‌ای در نظر بگیریم که یکی از محورهای آن، بر سطح شیب‌دار منطبق باشد. در این‌صورت نیروی وزن، روی هیچ یک از محورها قرار ندارد و باید آن را تجزیه کرد:



$mg\sin\theta$: مؤلفه‌ی نیروی وزن در راستای سطح

$mg\cos\theta$: مؤلفه‌ی نیروی وزن در راستای عمود بر سطح

Sanatisharif.ir

مثال ۳۲

مطابق شکل جسمی به جرم m روی سطح شیب‌داری با زاویه‌ی شیب متغیر قرار دارد. هنگامی‌که زاویه‌ی سطح شیب‌دار به α می‌رسد، جسم شروع به لغزیدن می‌کند. نشان دهید ضریب اصطکاک ایستایی از رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود:

$$\mu_s = \tan\alpha$$

مثال ۳۳

در شکل مقابل، جسم روی سطح شیب‌دار ساکن است. نیروی اصطکاک در این حالت چند نیوتون است؟ $\mu_s = ۰/۶$

نکته: هنگامی‌که جسم روی سطح شیب‌دار قرار دارد و به آن نیرویی غیر از وزن، عمودی سطح را اصطکاک وارد نمی‌شود، زمانی می‌تواند ساکن بماند که داشته باشیم:

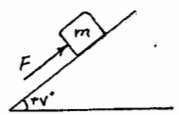
$$\tan\alpha \le \mu_s$$

مثال ۳۴

در شکل مقابل، $m = ۶\,kg$ و $\mu_s = ۰/۴$ است. در هر کدام از حالت‌های زیر، نیروی F را تعیین کنید:

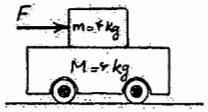
الف) جسم در آستانه‌ی حرکت رو به بالا قرار داشته باشد.

ب) جسم در آستانه‌ی حرکت رو به پایین قرار داشته باشد.



مثال ۳۵

در شکل مقابل اصطکاک بین سطح افقی و جسم وجود ندارد و ضریب اصطکاک ایستایی بین دو جسم، است.



الف) حداکثر نیروی F چه‌قدر می‌تواند باشد تا جسم بالایی روی جسم پایینی نلغزد؟

ب) اگر $F = ۲۰\,N$ باشد، شتاب حرکت هر کدام از جسم‌ها را تعیین کنید.

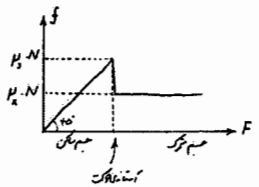
ج) اگر $F = ۴۰\,N$ باشد، آیا شتاب جسم‌ها با هم برابر است؟ توضیح دهید.

ب) اصطکاک جنبشی:

هرگاه جسم نسبت به سطح تماس و تکیه‌گاه خود حرکت داشته باشد، نیرویی در خلاف جهت حرکت جسم، در امتداد سطح به جسم وارد می‌شود که آن را نیروی اصطکاک جنبشی می‌نامند. مقدار این نیرو از رابطه‌ی زیر تعیین می‌گردد:

$$f_k = \mu_k N$$

در این‌جا نیز μ_k را ضریب اصطکاک جنبشی می‌نامند. آزمایش نشان می‌دهد که معمولاً $\mu_s > \mu_k$ است.

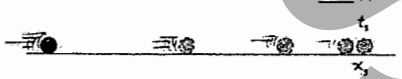


نکته: نمودار تغییرات نیروی اصطکاک بر حسب نیروی افقی وارد بر جسمی که روی سطح افقی قرار دارد، مطابق شکل زیر است.

نکته: اگر جسمی را با سرعت اولیه‌ی v_0 بر روی یک سطح افقی به ضریب اصطکاکی جنبشی μ_k پرتاب نماییم. این جسم پس از طی مسافت x_s و زمان t_s متوقف خواهد شد و در این صورت می‌توان نوشت:

$$x_s = \frac{v_0^2}{2\mu_k g} \qquad t_s = \frac{v_0}{\mu_k g}$$

توجّه شود که این دو مقدار، ارتباطی با جرم جسم ندارد.



Sanatisharif.ir