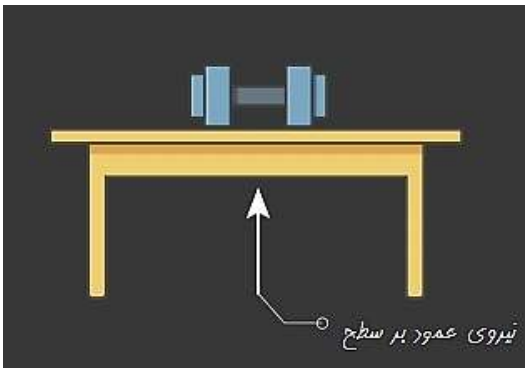
توپی را در نظر بگیرید که توسط طنابی از سقف آویزان شده است. نیروی گرانش، توپ را به سمت زمین می کشد اما چه چیزی باعث می شود که توپ سقوط نکند؟ طنابی که توپ را نگه داشته است. بنابر این طناب نیرویی به سمت بالا به توپ وارد می کند و مانع از سقوط و شتاب گرفتن توپ می شود. به این نیرو، نیروی کشش طناب میگویند. به هر نیرویی که نتیجه کشیدن طناب، فنر یا هر چیزی مانند اینها باشد، نیروی کشش می گویند و با T نشان می دهند.

می توانیم بگوییم که نیروی کشش از بعضی جهات مخالف نیروی عمودی سطح است. وقتی جسمی روی سطح میزی قرار می گیرد، میز در مقابل فشرده شدن مقاومت می کند. یعنی سطح میز نیرویی به جسم وارد می کند که مانع از فرورفتن جسم داخل میز می شود.به این نیرو، نیروی عمودی سطح می گوییم.



طناب هم رفتار مشابهی انجام می دهد . وقتی جسمی به طناب نیرو وارد می کند، طناب هم مقاومت می کند اما این بار این مقاومت دربرابر کشیده شدن است. وقتی نیرویی به طناب وارد می شود، این نیرو سعی می کند تا مولکول های طناب را از هم دور کند اما مولکول ها در برابر این نیرو مقاومت می کنند و با نیروی داخلی، نمی گذارند که

فاصله بینشان زیاد شود. بنابر این نیروی کشش طناب نیرویی است که از فاصله گرفتن مولکول های جسم به خاطر نیروی خارجی جلوگیری می کند.

در مثال نیروی عمودی سطح اگر جسم بر روی سطح نباشد، نیروی عمودی سطح، صفر است. در مورد طناب هم اگر جسمی به طناب نیرو وارد نکند، نیروی کشش، صفر است.

توجه داشته باشید که ما از طناب ایده آل صحبت می کنیم. یعنی طنابی که جرمش صفر است و فرض می کنیم که مانند فنر، در اثر وارد شدن نیرو، طول طناب تغییری نمی کند. طناب ایده آل تنها مانند یک رابط رفتار می کند و حتی اگر اجسامی که توسط طناب کشیده می شوند و خود طناب، شتابدار باشند، چون جرم طناب، صفر در نظر گرفته می شود،تنها نیروی F وارد شده را انتقال می دهد.

حال طنابی را در نظر بگیرید که از دو طرف با نیروی برابر F کشیده می شود،هر قسمت از طناب با نیروی F مخالفت می کند تا مولکول ها از هم فاصله نگیرند بنابر این کشش در قسمت های مختلف طناب برابر با هم و برابر با F است. دقت کنید که نیروی کشش طناب 2F نمی شود. چرا که طناب بدون جرم فقط منتقل کننده نیرو است.

مثال 1:

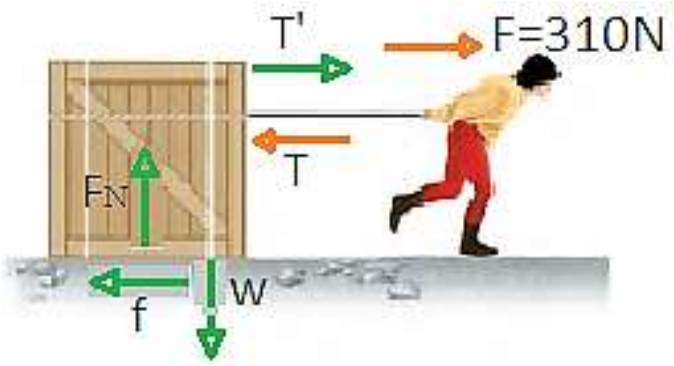
در شکل روبرو، کارگری جعبه ساکنی را با طنابی افقی با نیروی ثابت افقی 310N می کشد. اگر جرم جعبه، 100kg و ضریب اصطکاک ایستایی و جنبشی بین جعبه و سطح به ترتیب 0/30 و 0/25 باشد،

الف)آیا جعبه شروع به حرکت می کند؟

ب) اگر جعبه حرکت کند، شتاب حرکت آن را بیابید.

پاسخ:

نمودار نیروهای وارد بر جسم را رسم می کنیم:

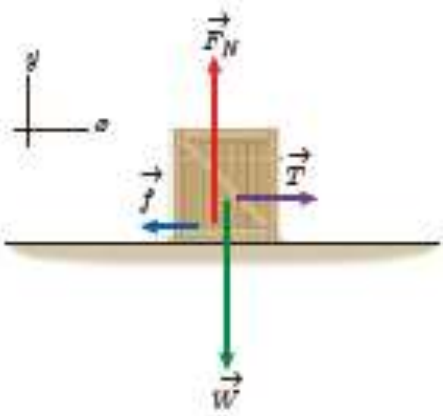


چون طناب ایده آل است پس همان نیرویی که به آن وارد شده است را انتقال می دهد یعنی:

$$F = T = 310N$$

به طناب از طرف جعبه نیروی T وارد می شود و طناب هم در عکس العمل به جعبه نیروی T' وارد می کند.

بنابر این نیروهای وارد بر جعبه به شکل زیر است:



حال در دو بعد نیروها را تحلیل می کنیم:

در راستای عمودی، چون جسم شتاب ندارد بنابر این مجموع نیروهای وارد بر جسم، صفر است.

$$F_N = W = mg = 100kg \times 9.8\frac{N}{kg} = 980N$$

در راستای افقی نیروهای وارد بر جسم، نیروی کشش طناب و نیروی اصطکاک است. حال اگر جسم بخواهد حرکت کند، باید نیروی کشش وارد شده از نیروی اصطکاک ایستایی بیشتر باشد بنابر این ابتدا بیشینه نیروی اصطکاک ایستایی را پیدا می کنیم:

$$f_{s\,max} = \mu_s \times F_N = 0.3 \times 980N = 294N$$

چون نیروی کشش طناب از بیشینه نیروی اصطکاک ایستایی بیشتر است بنابر این، جسم شروع به حرکت می کند.

ب) قانون دوم نیوتون را در راستای افقی برای این جسم می نویسیم:

$$\sum F = ma \rightarrow T - f_k = ma$$

$$f_k = \mu_k \times F_N = 0.25 \times 980N = 245N$$

$$T - f_k = ma \rightarrow 310N - 245N = 100kg \times a \rightarrow$$

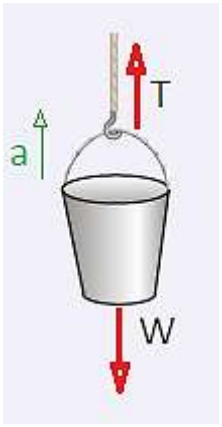
$$a = 0.65\ m/s^2$$

مثال 2:

کارگری یک سطل محتوی مصالح به جرم 16kg را با طناب سبکی به طرف بالا می کشد. اگر شتاب رو به بالای سطل $1.2m/s^2$ باشد، نیروی کشش طناب چقدر است؟ ($g=9.8\ m/s^2$)

پاسخ:

ابتدا نیروهای وارد بر سطل را رسم می کنیم:



حال قانون دوم نیوتون را برای این سطل می نویسیم:

$$\sum F = ma \rightarrow T - W = ma$$

$$T - (16kg \times 9.8\frac{N}{kg}) = 16kg \times 1.2\frac{N}{kg}$$

$$T = 176N$$

مثال 3:

یک خودروی باری با طناب افقی محکمی، یک خودروی سواری به جرم 1500kg را می کشد. نیروی اصطکاک و مقاومت هوا در مقابل حرکت خودروی سواری 220N و و 380N است.

الف) اگر سرعت خودرو ثابت باشد، نیروی کشش طناب T چقدر است؟

ب) اگر خودرو با شتاب ثابت $2m/s^2$ به طرف چپ کشیده شود، نیروی کشش طناب چقدر است؟

الف) قانون دوم نیوتون را طبق نیروهای نشان داده شده در شکل، برای ماشین می نویسیم. چون حرکت خودرو با سرعت ثابت است، شتاب صفر است.

$$\sum F = ma \rightarrow T - f_D - f_k = ma = 0$$

$$T = f_D + f_k = 220N + 380N = 600N$$

$$T = 600N$$

ب) در این حالت اتومبیل شتاب دارد بنابر این:

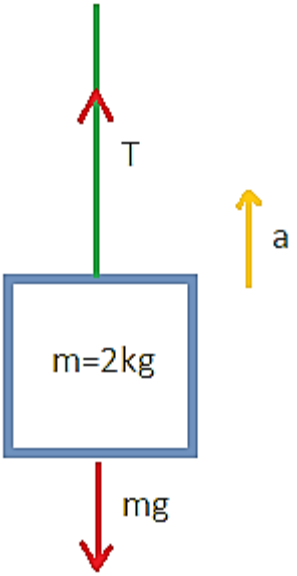
$$\sum F = ma \rightarrow T - f_D - f_k = ma$$

$$T - 220N - 320N = 1500kg \times 2\ m/s^2$$

$$T = 3600N$$

مثال 4:

وزنه ای به جرم $2kg$ را با طناب سبکی با شتاب $2m/s^2$ تند شونده رو به بالا می کشیم. اگر نیروی کشش طناب را دو برابر کنیم، شتاب حرکت جسم چند برابر می شود؟ *$(g=10\ m/s^2)$*



پاسخ: قانون دوم نیوتون را برای نیروهای وارد شده بر این جرم می نویسیم:

$$\sum F = ma \rightarrow T - mg = ma \rightarrow m(g+a) = T$$

$$T = 2kg \times \left(10\frac{m}{s^2} + 2\frac{m}{s^2}\right) = 24N$$

حال اگر کشش طناب دوبرابر شود، شتاب حرکت را به دست می آوریم:

$$2T - mg = ma \rightarrow (2 \times 24N) - (2kg \times 10\frac{N}{kg}) = 28N = 2kg \times a$$

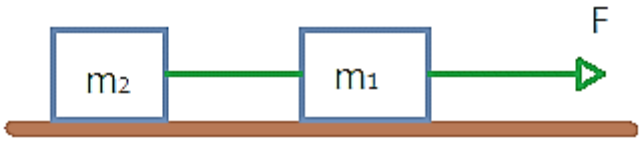
$$a = 14\ m/s^2$$

که یعنی شتاب حرکت جسم 7 برابر می شود.

تمرین ها

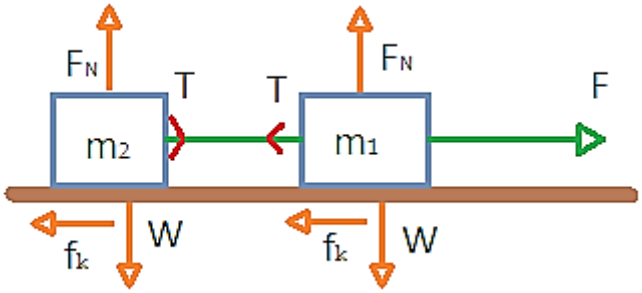
حل این تمرین ها برای دانش آموزان نظام جدید (3-6-3) نیازی نیست. چون مسائلی که در آن دو جرم به هم متصل هستند، در محتوای کتاب فیزیک 3 (پایه دوازدهم) نمی گنجد.

تمرین 1: مطابق شکل، دو جسم به جرم های $m_1=6kg$ و $m_2=4kg$ توسط نخ سبکی به هم بسته شده و روی سطح افقی با نیروی F کشیده می شوند. اگر نیروی کشش نخ 12N و ضریب اصطکاک جنبشی هر دو جسم با سطح افقی 0.2 باشد، شتاب حرکت دستگاه و نیروی F را به دست آورید.



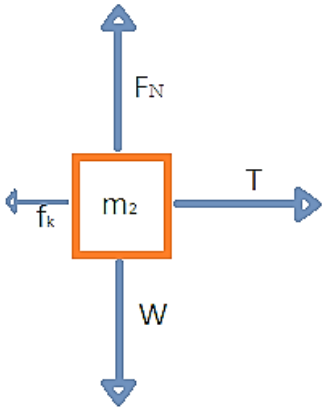
پاسخ:

ابتدا نیروهای وارد بر جرم ها را رسم می کنیم.



حال برای هر کدام از جرم ها، قانون دوم نیوتون را می نویسیم:

برای جسم 2:



در راستای عمودی:

$$F_{N2} - W_2 = 0 \rightarrow F_{N2} = W_2 = m_2 g = 4kg \times 10\frac{N}{kg} = 40N$$

در راستای افقی:

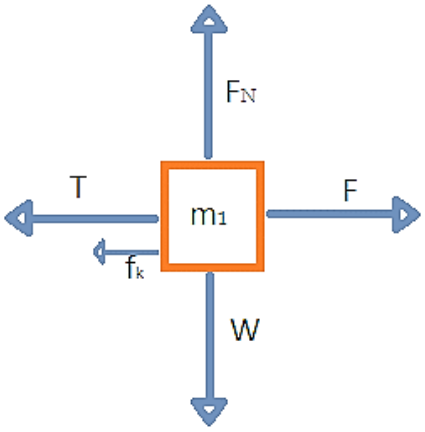
$$\sum F = ma \rightarrow T - f_{2k} = m_2 a$$

$$f_{2k} = \mu_k \times F_{N2} = 0.2 \times 40N = 8N$$

$$T - f_{2k} = m_2 a \rightarrow 12N - 8N = 4kg \times a$$

$$a = 1m/s^2$$

برای جرم 1 داریم:



در راستای عمودی:

$$F_{N1} - W_1 = 0 \rightarrow F_N = W_1 = m_1 g = 6kg \times 10\frac{N}{kg} = 60N$$

در راستای افقی:

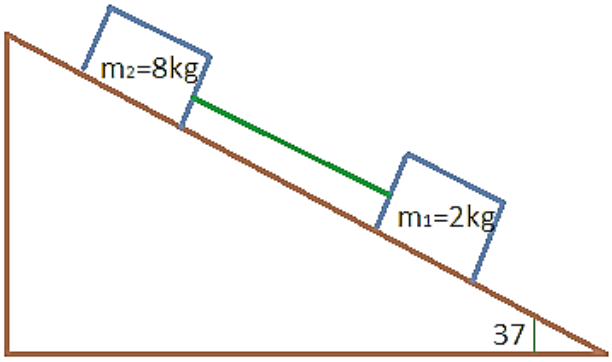
$$\sum F = ma \rightarrow F - T - f_{1k} = m_1 a$$

$$f_{1k} = \mu_k \times F_{N1} = 0.2 \times 60N = 12N$$

$$F - T - f_{1k} = m_1 a \rightarrow F - 12N - 12N = 6kg \times 1\frac{m}{s^2}$$

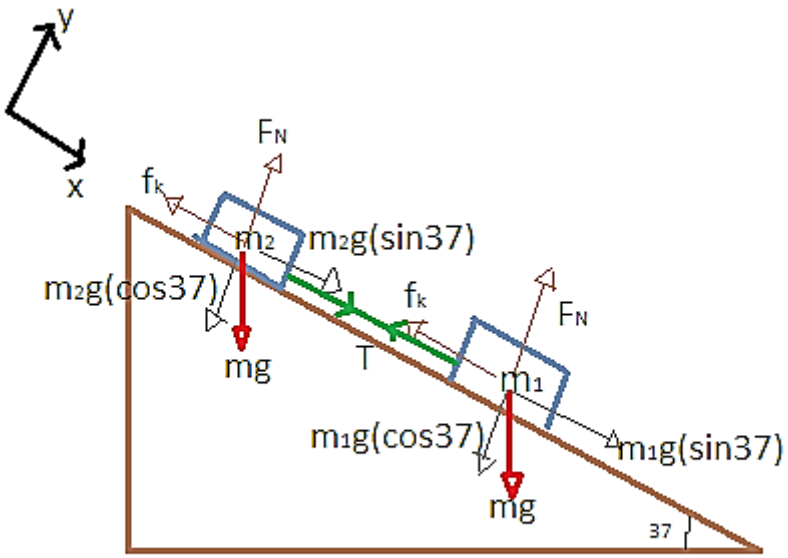
$$F = 30N$$

تمرین 2: در شکل زیر، دو وزنه با یک نخ به هم بسته شده اند. اگر ضریب اصطکاک وزنه ها با سطح ناچیز باشد، کشش نخ برابر با T است. ولی اگر ضریب اصطکاک جنبشی m_1 و m_2 با سطح به ترتیب ، 0.2 و 0.25 باشد، نیروی کشش برابر T' است. T و T' به ترتیب چند نیوتون می باشند؟ ($g=10\ m/s^2$ و $\sin 37=0.6$)

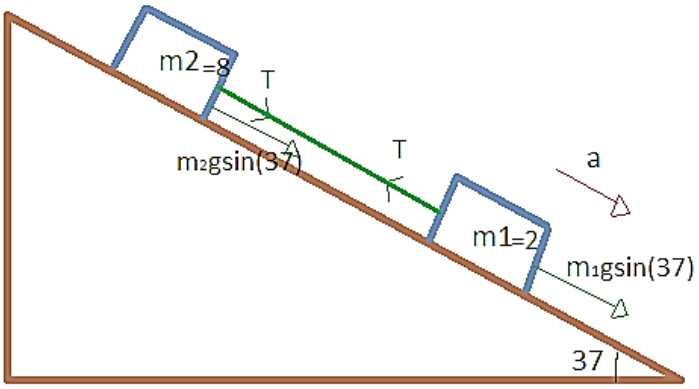


پاسخ:

مطابق شکل نیروهای وارد بر جرم ها را می نویسیم. بر این جرم ها نیروی وزن، اصطکاک، کشش طناب و عمودی سطح وارد می شود اما چون حرکت بر روی سطح شیبدار است محورهای مختصات را در راستای موازی سطح و عمود بر سطح در نظر می گیریم:



اگر ضریب اصطکاک ناچیز باشد، میتوانیم f_k ها را صفر در نظر بگیریم و نموداری مانند شکل زیر برای نیروها رسم کنیم:



$$m_1 g sin(37°) - T = m_1 a$$

$$m_2 g sin(37°) + T = m_2 a$$

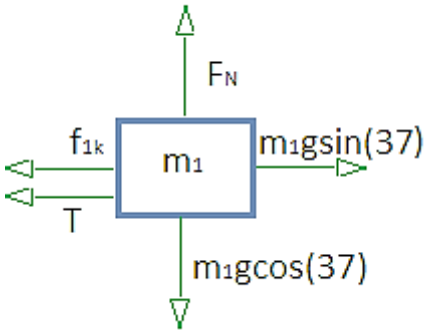
$$a = \frac{(m_1 + m_2) \times g sin(37)}{(m_1 + m_2)} \rightarrow a = 6 \frac{m}{s^2}$$

$$T = m_1 \times (6 - a) = 0$$

$$T = 0$$

حال با در نظر گرفتن نیروی اصطکاک مسئله را حل می کنیم:

برای هر جرم نموداری مانند شکل زیر رسم می کنیم:



برای به دست آوردن نیروی اصطکاک باید ابتدا نیروی عمودی سطح را بیابیم. برای یافتن این نیرو، در راستای عمود بر سطح، قانون دوم نیوتون را می نویسیم:

$$\sum F = m_1 a \rightarrow F_{1N} - m_1 g \cos(37°) = 0$$

$$F_{1N} = m_1 g \cos(37°)$$

چون صورت سوال به ما مقدار $sin(37)$ را داده است مقدار کسینوس را از رابطه زیر به دست می آوریم:

$$\cos(37°) = \sqrt{(1-(\sin 37°)^2} = \sqrt{1-(0.6)^2} = 0.8$$

بنابر این مقدار نیروی عمودی سطح برابر است با:

$$F_{N1} = 16N$$

اگر ضریب اصطکاک را برابر با 0.2 در نظر بگیریم:

$$f_{1k} = \mu_k \times F_{N1} = .2 \times 16 = 3.2$$

$$\sum F = ma \rightarrow m_1 g sin(37°) - T' - f_{1k} = m_1 a$$

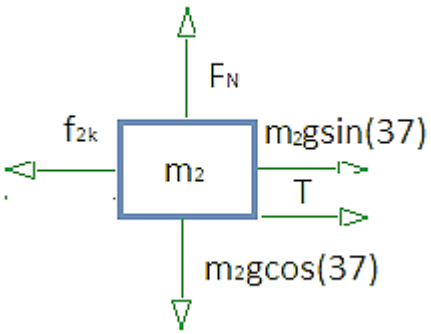
دقت کنید که در اینجا چون نیروهای وارد بر جسم تغییر کرده است، شتاب نیز تغییر کرده است و نمی توانیم شتابی را که از حالت قبل به دست آورده بودیم، جایگذاری کنیم.

$$T' = m_1 g sin(37°) - f_{1k} - m_1 a$$

$$T' = 2kg * 0.6 * 10\frac{m}{s^2} - 3.2N - 2 \times a$$

$$T' = 8.8N - 2 \times a$$

حال برای جرم 2 هم همین مراحل را طی می کنیم:



$$\sum F = ma \rightarrow m_2 g sin(37°) + T - f_{2k} = m_2 a$$

برای به دست آوردن نیروی اصطکاک باید ابتدا نیروی عمودی سطح را بیابیم. برای یافتن این نیرو، در راستای عمود بر سطح، قانون دوم نیوتون را می نویسیم:

$$\sum F = m_2 a \rightarrow F_{N2} - m_2 g\cos(37°) = 0$$

$$F_{N2} = m_2 g\cos(37°)$$

$$F_{N2} = 64N$$

حال در راستای محور x مجموع نیروها را می نویسیم:

$$\sum F = ma \rightarrow m_2 gsin(37°) + T' - f_{2k} = m_2 a$$

$$T' = -m_2 gsin(37°) + f_{2k} + m_2 a$$

$$f_{2k} = \mu_{k2} \times F_{N2} = .25 \times 8\, m_2 = 16N$$

$$T' = -0.6 \times 10\frac{m}{s^2} \times 8kg + 16N + 8 \times a =$$

$$T' = 8 \times a - 32N$$

حال T′ را از معادلات بالا به دست می آوریم:

$$\begin{cases} T' = 8.8 - 2 \times a \\ T' = 8 \times a - 32 \end{cases} \rightarrow 8.8 - 2a = -32 + 8a \rightarrow 10a = 40.8$$

$$a = 4.08$$

$$T' = 0.64$$