

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فصل پنجم

# قوانین حرکت

## قوانین حرکت

در دیدگاه سینماتیکی شرح و بسط یک شیء در حال حرکت شامل مکان، سرعت و شتاب جسم بود.

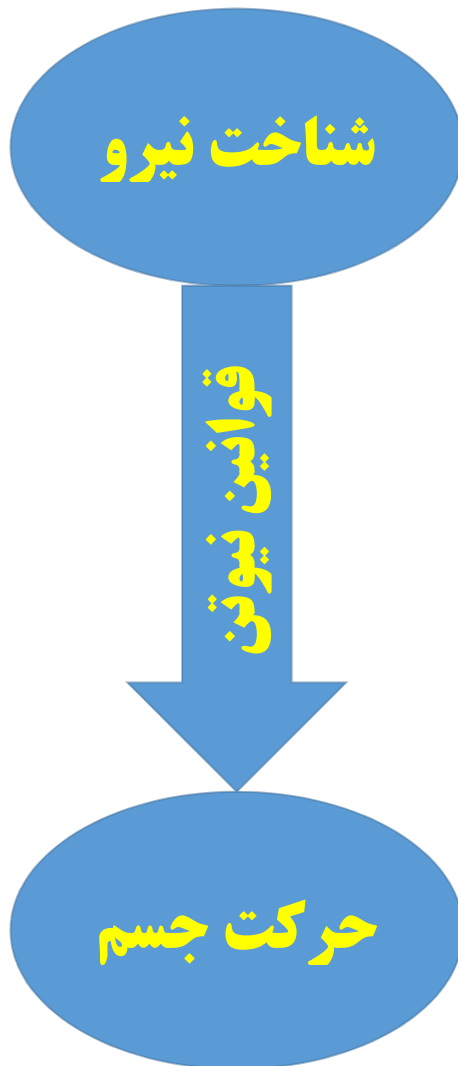
این نکته هم قابل ذکر است که چه چیزی ممکن است بر این حرکت تاثیر بگذارد.

دو عامل اصلی، برای پاسخ به سوالاتی درمورد اینکه چرا حرکت یک جسم تغییری کند باید مورد توجه قرار گیرد:

□ نیروهای بر روی جسم

□ جرم جسم

در دیدگاه دینامیکی با بررسی عامل حرکت (نیرو) و به کمک قوانین نیوتن به بررسی حرکت خواهیم پرداخت.



الف) سکون  $V = 0$  و  $a = 0$

ب) حرکت با سرعت ثابت  $a = 0$  و  $V = \text{constant}$

ج) حرکت با شتاب ثابت  $a = \text{constant} \neq 0$  و  $V = V(t)$

د) حرکت با شتاب متغیر  $a = a(t)$  و  $V = V(t)$

## نیرو (Force)

نیروهایی فشاری یا کششی که در زندگی روزمره داریم:

با هل دادن یک شیء سبب به حرکت درآوردن آن می شویم

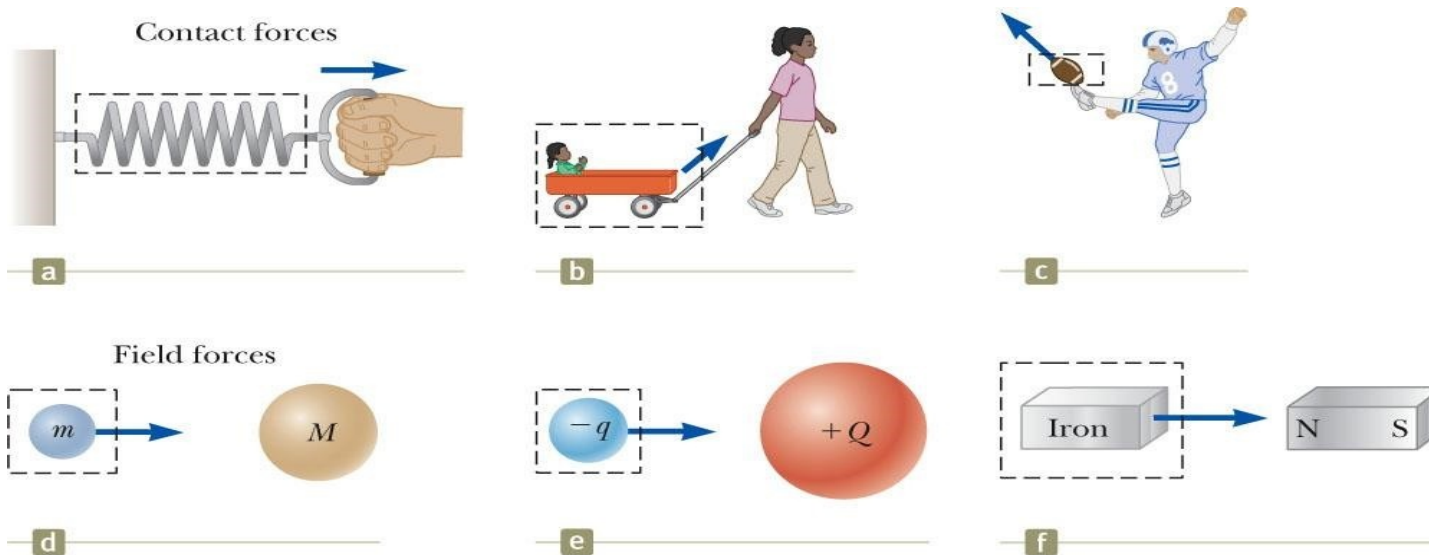
پرتاب یا ضربه زدن به توپ

ممکن است برروی یک جسم نیرو وارد شود ولی قادر به حرکت آن نباشد.

انواع نیرو

نیروهای تماسی: بین اجسام در تماس ردوبدل می شود

نیروهای غیرتماسی: بدون در تماس بودن اجسام بین آنها ردوبدل می شود



a ، b و c نیروهای تماسی - d ، e و f نیروهای غیر تماسی

## نیروهای اصلی (بنیادی)

نیروی گرانشی

نیروهای الکترو مغناطیسی

نیروی هسته ای

نیروهای ضعیف

بین اشیا

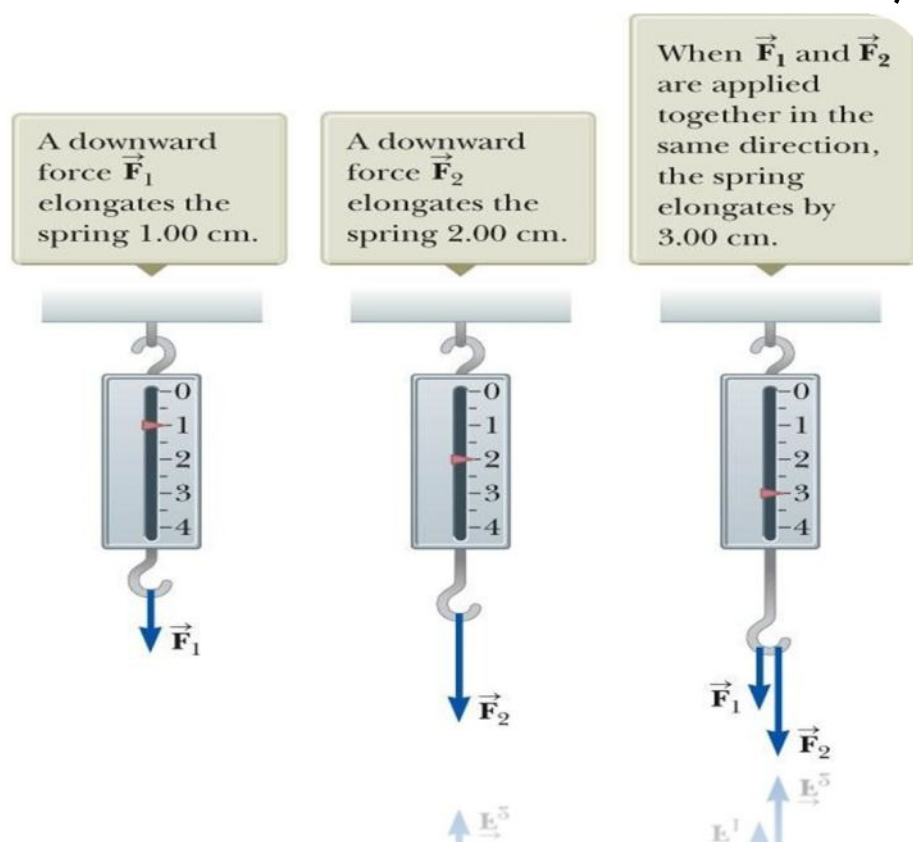
بین نیروی الکتریکی

بین ذرات ریز اتمی

دربارهی از فرآیندهای رادیواکتیو به وجود می آید

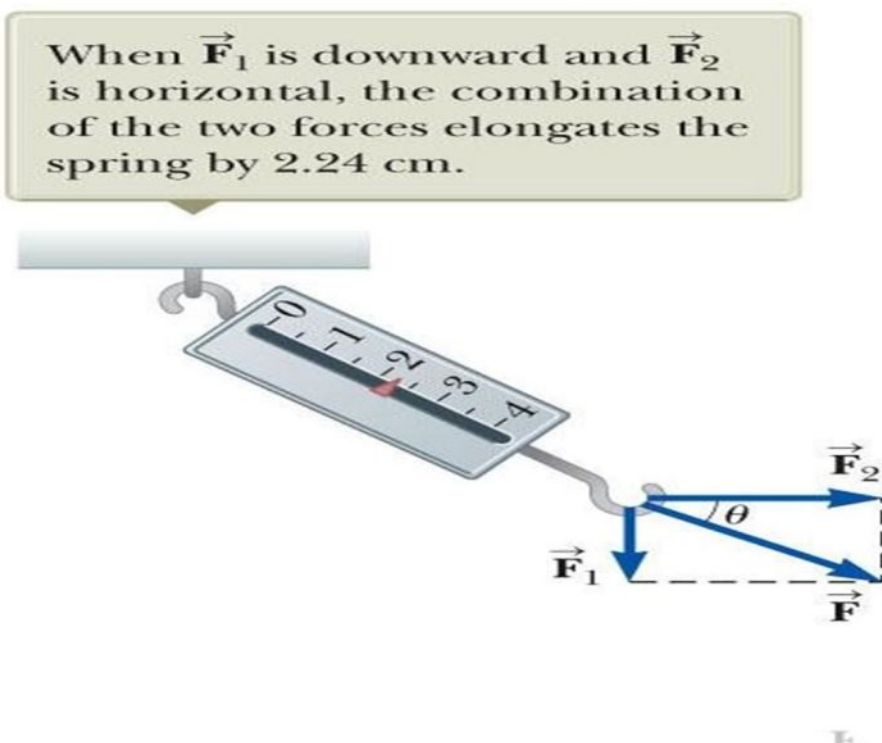
## ویژگیهای نیرو

۱- با افزایش نیروی، اثر آن به همان نسبت افزایش می یابد



۲- نیروها بردارها هستند و باید از قوانین جمع بردار برای پیدا کردن نیروی خالص بر روی یک جسم استفاده شود.

اگر نیروها عمود بر یکدیگر عمل کنند نیروی حاصل وتر است.



# قوانین نیوتن در حرکت شناسی

## قانون اول نیوتن

هر جسمی تمایل دارد تا حالت سکون یا حرکت یکنواخت خود را روی خط راست حفظ نماید مگر آنکه تحت نیرو یا نیروهای مجبور به تغییر آن حالت شود.  
این قانون را قانون اینرسی (لختی) نیز می نامند.

اگر جسم ساکن بوده ← ساکن می ماند  
اگر حرکت داشته ← همان حرکت را ادامه می دهد (با سرعت، راستا و جهت مثل قبل)

## جرم و لختی

تمایل یک شیء برای مقاومت در برابر هرگونه تلاش برای تغییر سرعت آن اینرسی یا لختی نامیده می شود.

جرم بیان کمی از لختی جسم است که مشخص می کند میزان مقاومت یک شیء در برابر تغییرات در سرعت آن چقدر است.

برای جرمها، شتاب حرکتی ایجاد شده توسط یک نیروی معین متناسب با عکس جرم آنها است.

$$\frac{a_2}{a_1} \equiv \frac{m_1}{m_2}$$

میزان شتاب عمل بر روی یک جسم تناسب عکس دارد با جرم آن

## جرم و وزن

- ❖ جرم یک ویژگی ذاتی یک جسم است.
- ❖ جرم مستقل از محیط اطراف است.
- ❖ جرم مستقل از روش مورد استفاده برای اندازه گیری آن است.
- ❖ جرم مقداری اسکالر است.
- ❖ واحد آن در سیستم SI کیلوگرم است.
- ❖ وزن برابر با مقدار نیروی گرانشی اعمال شده بر روی جسم از طرف زمین است
- ❖ وزن با مکان متفاوت است
- ❖ واحد آن در سیستم SI نیوتن است.

## قانون دوم نیوتن

در یک مرجع ساکن؛ شتاب یک جسم به طور مستقیم با نیروی خالص (برآیند) وارد بر جسم متناسب است و به طور معکوس با جرم آن ارتباط دارد. نیرو عامل تغییر در حرکت اجسام است که می تواند براساس شتاب اندازه گیری می شود.

نکته: جسم می تواند در غیاب نیروها حرکت کند. نیرو را به عنوان علت حرکت تفسیر نکنید.

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} \sum F_x = ma_x \\ \sum F_y = ma_y \\ \sum F_z = ma_z \end{cases}$$

این مجموع بردار تمام نیروی های عمل بر روی جسم است.

$$1\text{N} = 1 \text{ kg } \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \text{ است. واحد نیرو نیوتن است.}$$

## قانون اول در قالب قانون دوم

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

$$\sum \vec{F} = 0 \quad \rightarrow \quad \vec{a} = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{d\vec{V}}{dt} = 0 \quad \rightarrow \quad \vec{V} = \text{const} \tan t$$

اگر جسم ساکن بوده، ساکن می ماند

و اگر جسم حرکتی داشته همان حرکت را حفظ می نماید

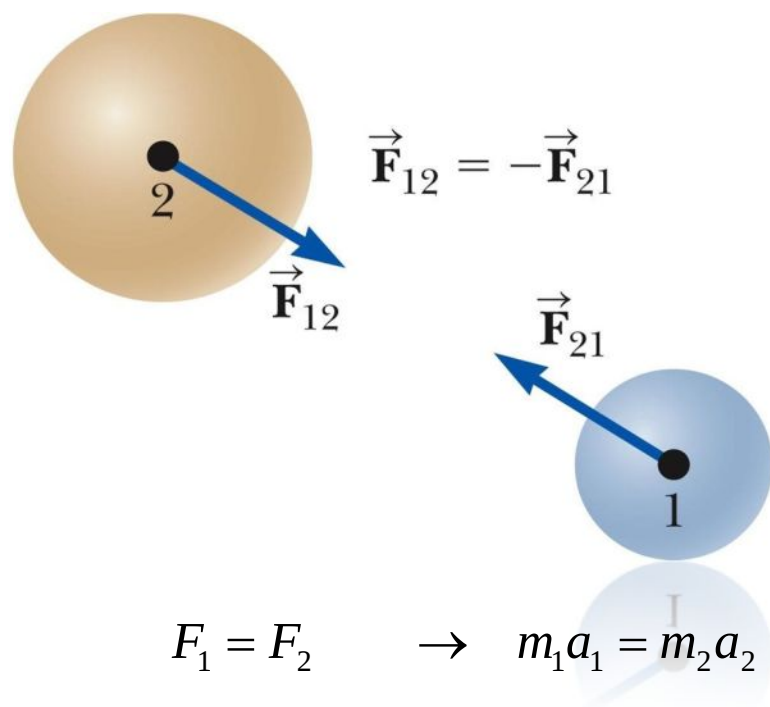
- با همان اندازه سرعت

- در همان راستا

- در همان جهت

## قانون سوم نیوتن

هرگاه جسمی به جسم دیگر نیرو وارد کند، جسم دوم هم به جسم اول نیرویی هم اندازه، هم راستا و در  
خلاف جهت وارد می کند.



$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

\* به عبارت دیگر: نیروی عمل و عکس العمل که به دو  
جسم متفاوت وارد می شود برابر و مختلف جهت اند.

\* شتاب حاصل از نیروی عمل و عکس العمل برای دو

جسم با وارون جرم آنها متناسب است.  $\rightarrow \frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$

## نیروهای پر کاربرد در مبحث مکانیک

❖ گرانش

❖ عمودی سطح

❖ کشش

❖ اصطکاک

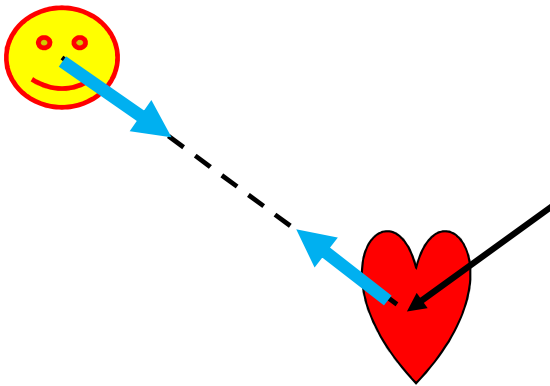
❖ فنر

## نیروی گرانش جهانی:

هر دو جسم مادی همدیگر را جذب می نمایند که این نیرو وابسته به:

✓ جرم آنها

✓ و فاصله آنها از هم است



$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

اندازه:

راستا: روی خط واصل میان دو جسم

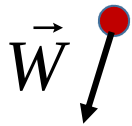
جهت: جاذبه

بردار نیروی گرانش

## نیروی وزن (نیروی گرانشی)

نیرویی است که زمین بر روی یک جسم وارد می کند. این نیرو به جسم و به سمت مرکز زمین وارد می شود.

$$\vec{W}' = -\vec{W}$$

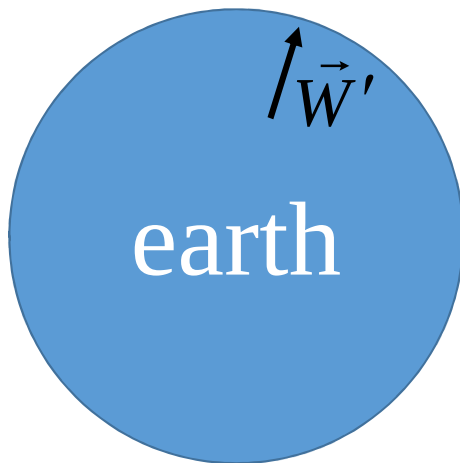


$$\vec{W} = m\vec{g}$$

$$W = mg$$

از قانون دوم نیوتن داریم:

مقدار آن وزن جسم نامیده می شود.



وزن در ارتفاع بالاتر کمتر است.

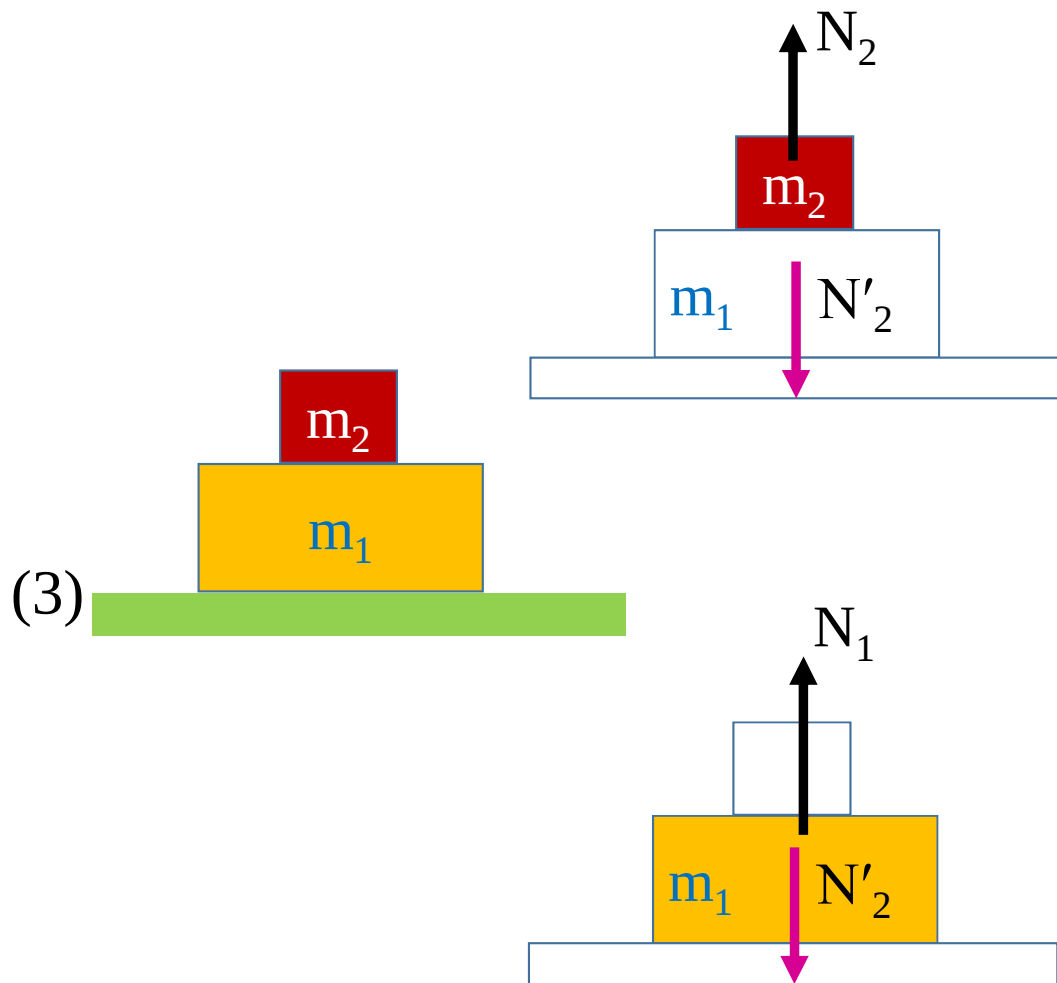
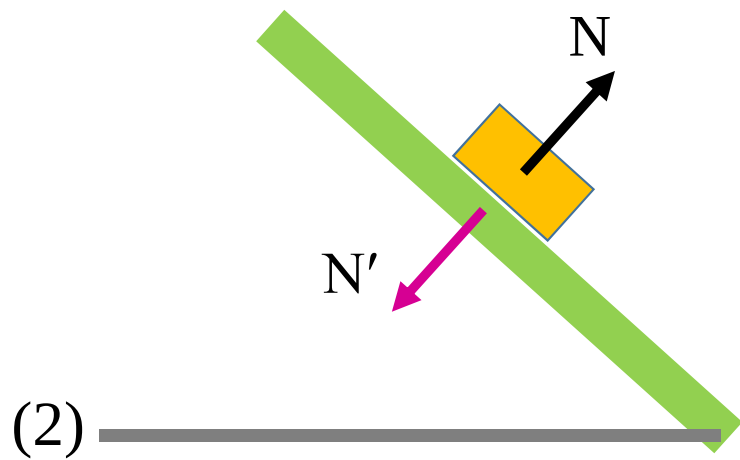
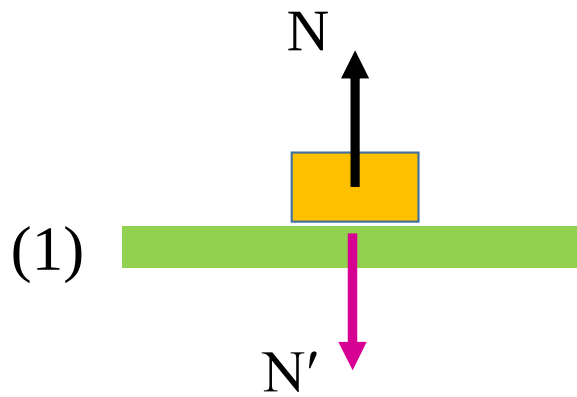
شتاب گرانش از سیاره به سیاره ی دیگر متفاوت است در نتیجه وزن جسم از سیاره به سیاره متفاوت خواهد بود. وزن یک ویژگی ذاتی جسم نیست.

## نیروی عمودی سطح (N):

هنگامی که دو جسم با هم تماس سطحی داشته باشند نیروی عمود سطحی بین آنها رد و بدل می شود تا از فرو رفتن آنها در هم جلوگیری نماید.

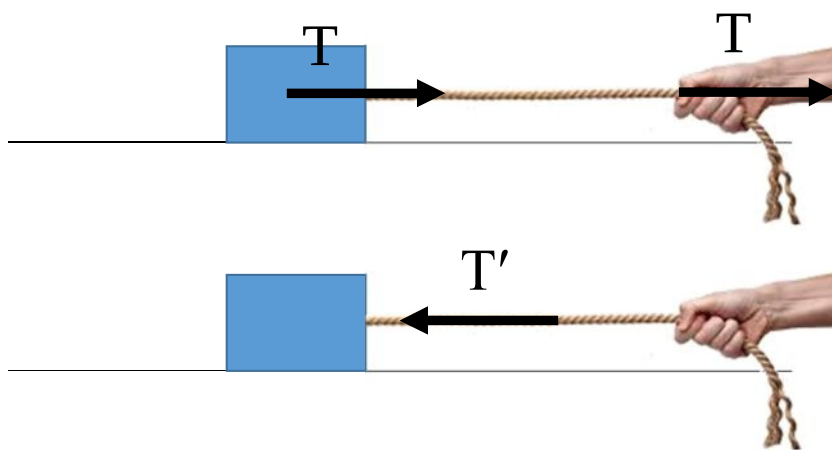
بردار نیروی عمودی سطح

- اندازه: با توجه به نوع مسئله
- راستا: عمود بر سطح در محل تماس
- جهت: به سمت بیرون از سطح



## نیروی کشش (T)

نیروی کشش یا رانش که بواسطه یک ریسمان، طناب، زنجیر، چوب و غیره به جسم وارد می شود.



$$\vec{T}' = -\vec{T}$$

## نمودار آزاد جسم

اولین قدم در حل مسائل مربوط به قوانین نیوتن، مشخص نمودن نیروهای وارد بر جسم می باشد که به آن نمودار آزاد جسم گفته می شود.

اشیا را می توان به عنوان ذرات با ابعاد کوچک و دارای جرم در نظر گرفت.

نیروهای خارجی که بر روی جسم عمل می کنند در نظر گرفته می شود.

در رسم این نمودار به نیروهای عکس العملی که جسم مورد نظر بر اجسام دیگر وارد می سازد کاری نداریم.

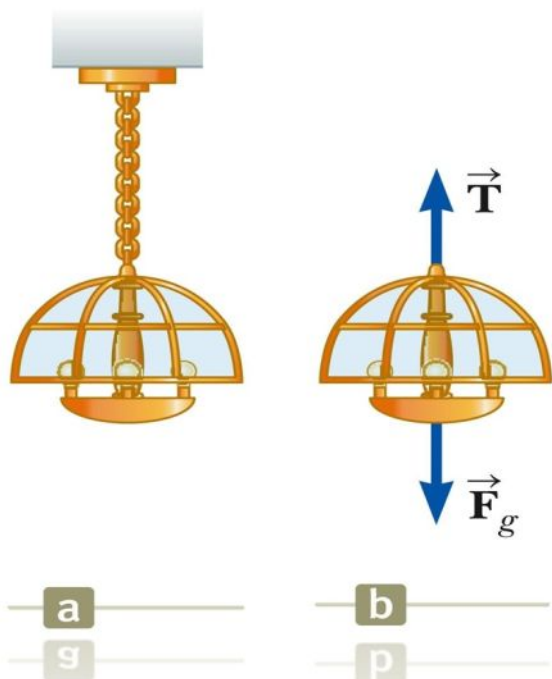
## مثال تعادل

لامپ از زنجیری با جرم ناچیز در هوا معلق است.

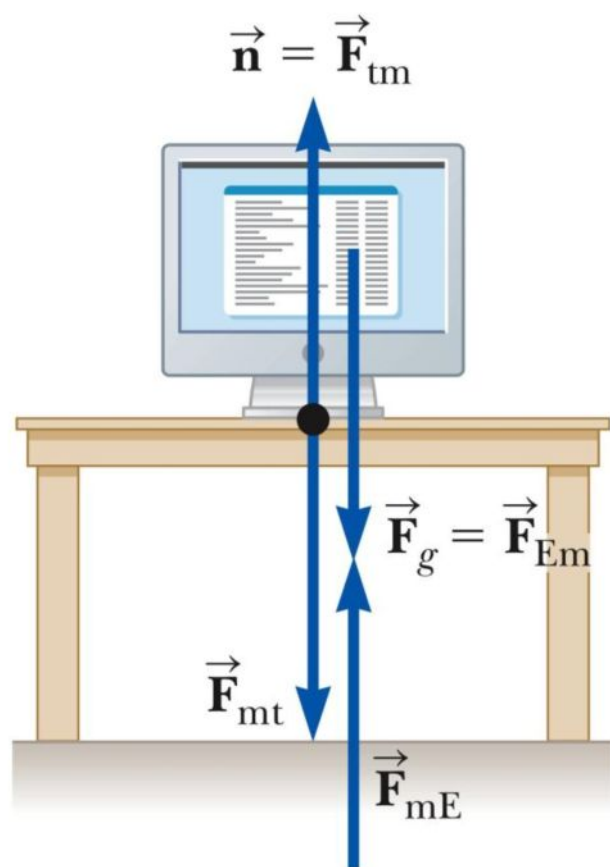
نیروهایی که بر روی لامپ عمل می کنند عبارتند از: نیروی گرانش زمین به سمت زمین و کشش رو به بالا در زنجیره

در حالت تعادل :

$$T = F_g = mg$$



مثال) نیروهای وارد بر یک مانیتور



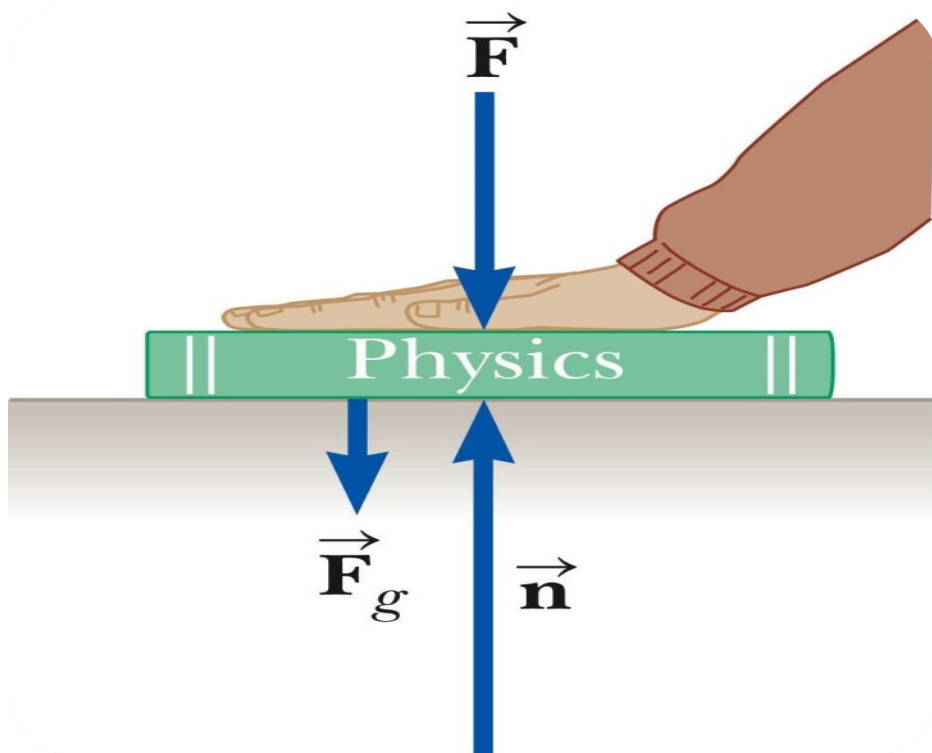
نیرویی که سطح میز به مانیتور وارد می سازد

نیرویی که زمین به مانیتور وارد می سازد

در حالت تعادل :  $N = mg$

(مثال)

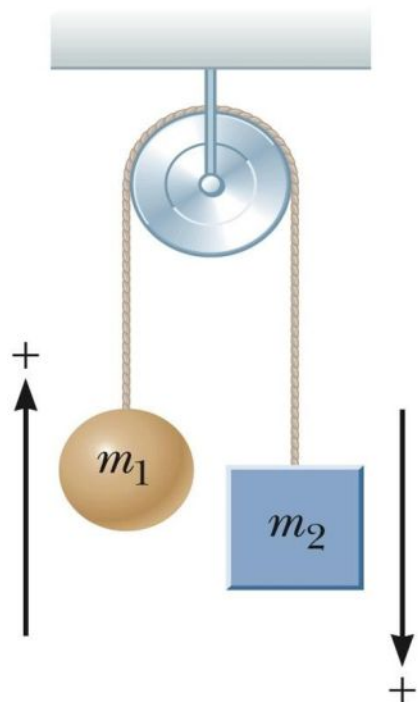
نیروی عمودی همیشه برابر نیروی گرانشی جسم نیست.



$$\sum F_y = n - F_g - F = 0$$

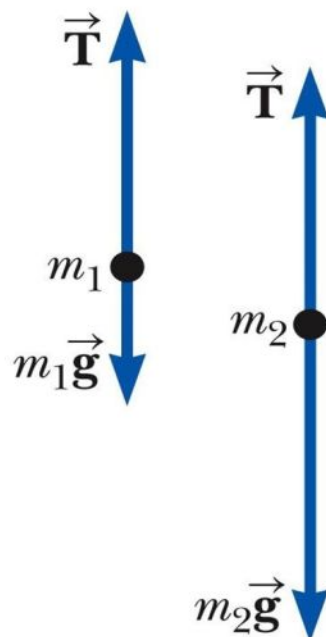
$$n = mg + F$$

مثال) ماشین آتوود



a  
g

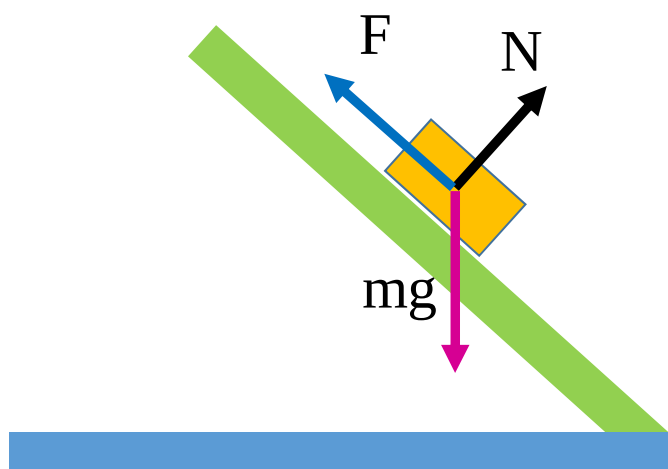
برای حل مسئله شاید به رسم نمودار آزاد چند جسم باشد



b  
p

مثال) جسم روی سطح شیبدار به سمت بالا کشیده شود.

نیروی عمودی همیشه برابر نیروی گرانشی جسم نیست.



## دستور العمل حل مسائل مکانیک در دیدگاه دینامیکی

- ۱- انتخاب جسم یا اجسام یا نقاط مناسب
- ۲- رسم نمودار آزاد (نیروهای وارد بر جسم)
- ۳- انتخاب دستگاه مختصات مناسب و تجزیه نیروهای روی محورها
- ۴- نوشتن قانون دوم نیوتن به صورت مولفه ای
- ۵- در صورتی که در یک راستا جسم حرکتی نداشته باشد برآیند نیروها در آن راستا صفر خواهد بود

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad \xrightarrow{\text{مسئله دو بعدی}} \begin{cases} \sum F_x = ma_x \\ \sum F_y = ma_y \end{cases}$$

$$\xrightarrow{\text{جسم ساکن}} \sum \vec{F} = m\vec{a} = 0 \quad \rightarrow \begin{cases} \sum F_x = ma_x = 0 \\ \sum F_y = ma_y = 0 \end{cases}$$

$$\xrightarrow{\text{جسم در یک راستا بدون حرکت (مثلا y)}} \sum \vec{F} = m\vec{a} \neq 0 \quad \rightarrow \begin{cases} \sum F_x = ma_x \neq 0 \\ \sum F_y = 0 \end{cases}$$

(مثال)

نیروهای عمل بر روی جعبه عبارتند از:

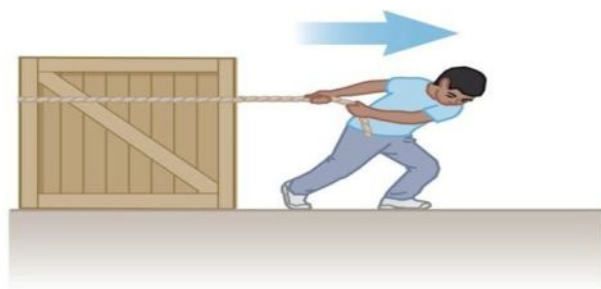
نیروی کشش از طریق طناب  $\vec{T}$

نیروی گرانشی  $\vec{F}_g$

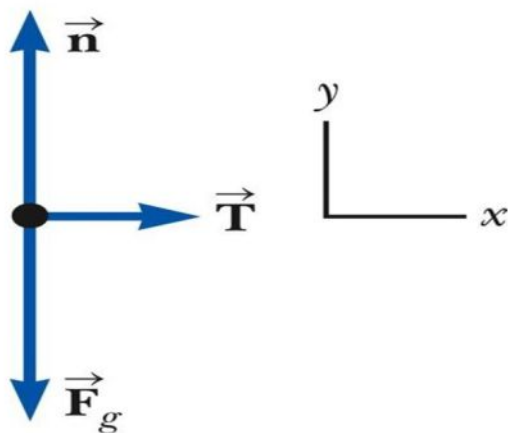
نیروی عمودی سطح اعمال شده توسط کف  $\vec{n}$

قانون دوم را در قالب زیر اعمال کنید:

$$\begin{cases} \sum F_x = T = ma_x \\ \sum F_y = n - F_g = 0 \rightarrow n = F_g \end{cases}$$



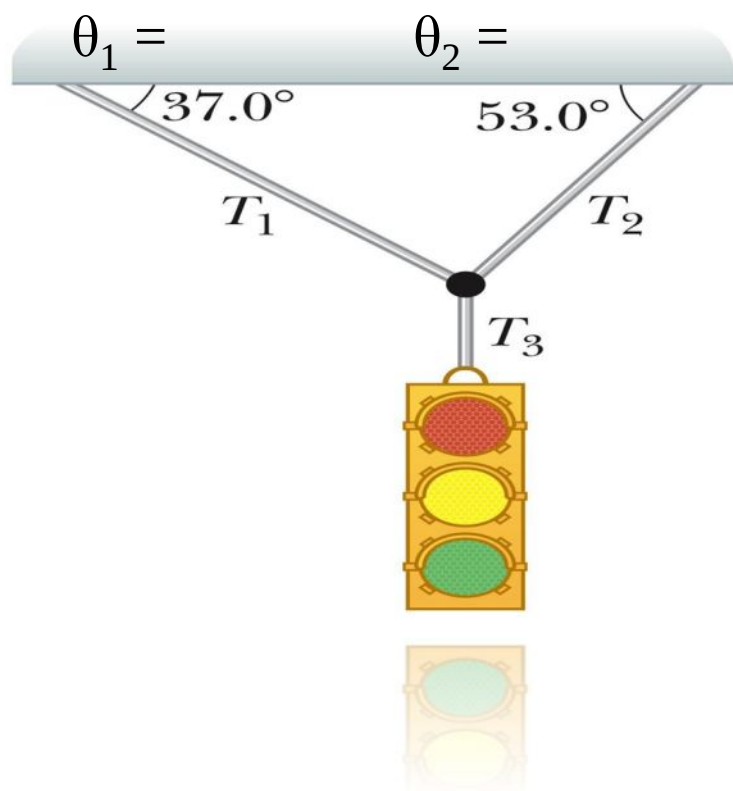
a



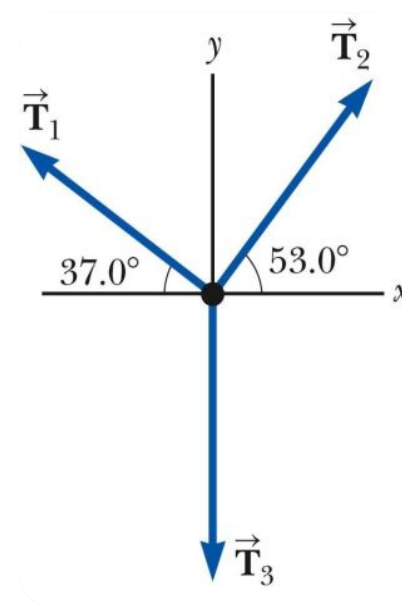
b

p

مثال) چراغ راهنمایی به جرم  $m$  توسط دو کابل ثابت نگهداشته شده است. نیروی های کشش درون ریسمان ها را بدست آورید



چراغ راهنما



نقطه اتصال

نقطه اتصال  $\begin{cases} \sum F_x = ma_x = 0 \\ \sum F_y = ma_y = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} T_2 \cos \theta_2 - T_1 \cos \theta_1 = 0 & \textcircled{1} \\ T_2 \sin \theta_2 + T_1 \sin \theta_1 - T_3 = 0 & \textcircled{2} \end{cases}$

چراغ راهنما  $\sum F_y = ma_y = 0 \Rightarrow T_3 = mg \quad \textcircled{3}$

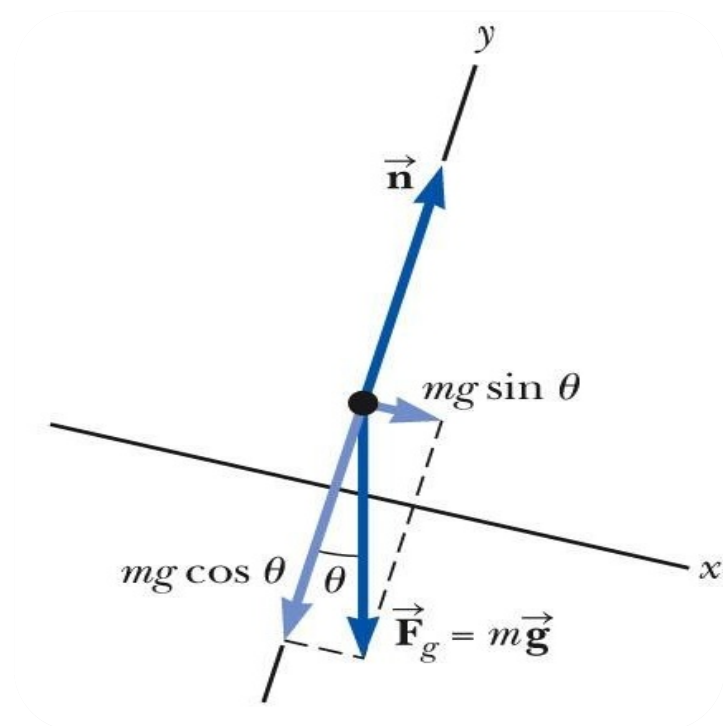
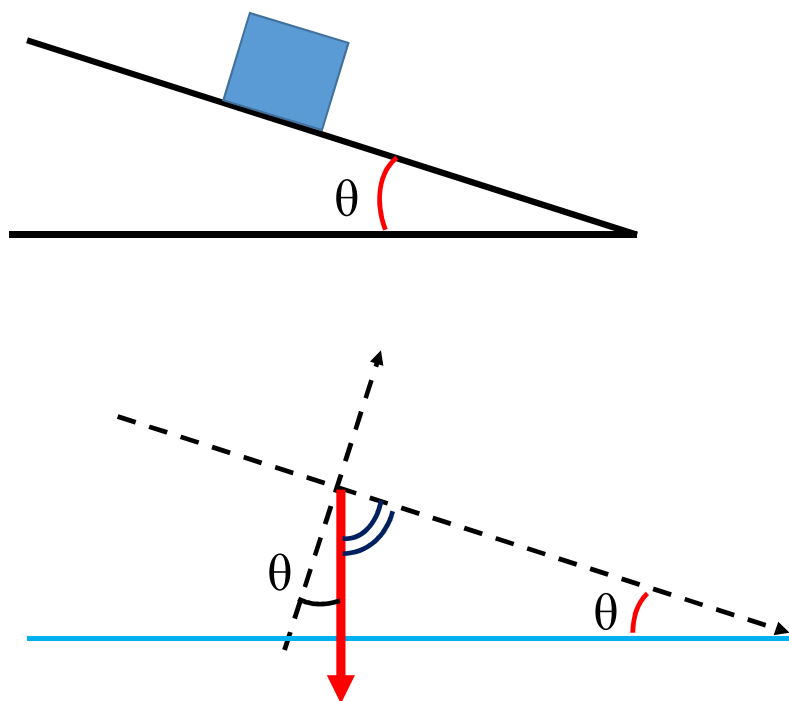
$\begin{cases} \sin \theta_1 \times T_2 \cos \theta_2 - T_1 \cos \theta_1 = 0 \\ \cos \theta_1 \times T_2 \sin \theta_2 + T_1 \sin \theta_1 = mg \end{cases} \Rightarrow T_2 (\sin \theta_1 \cos \theta_2 + \cos \theta_1 \sin \theta_2) = mg \cos \theta_1$

$$T_2 = \frac{mg \cos \theta_1}{\sin(\theta_1 + \theta_2)}$$

$$T_1 = \frac{mg \cos \theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2)}$$

و به همین ترتیب برای  $T_1$

مثال) جسمی به جرم  $m$  از روی سطح شیب‌داری رها می‌شود. شتاب حرکتی آن را بدست آورید

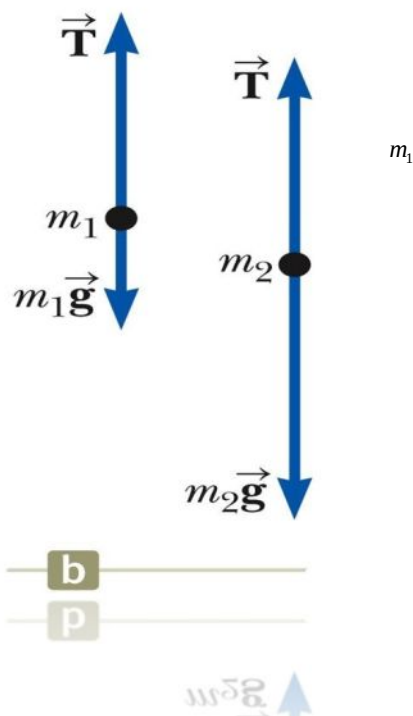
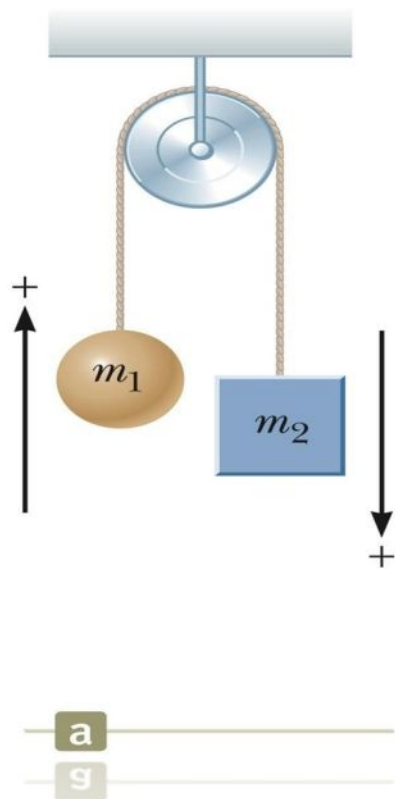


$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_x = ma_x \\ \sum F_y = ma_y = 0 \end{array} \right. \rightarrow \begin{array}{l} mg \sin \theta = ma \\ N - mg \cos \theta = 0 \end{array}$$

$$a = g \sin \theta$$

$$N = mg \cos \theta$$

مثال) ماشین آتوود شامل دو جرم  $m_1$  و  $m_2$  توسط ریسمانی که از روی قرقره بدون اصطکاک و بدون جرمی می گذرد داریم. شتاب حرکت اجسام را بدست آورید



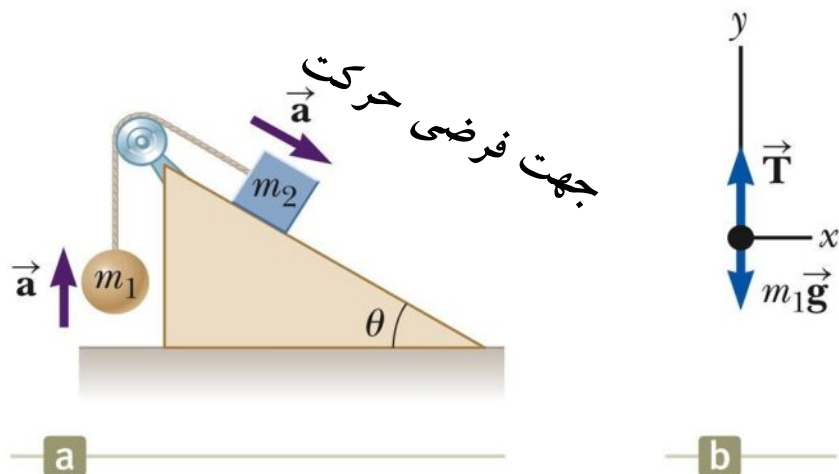
$$\sum F_y = ma$$

$$\begin{cases} m_1 & T - m_1 g = m_1 a \\ m_2 & m_2 g - T = m_2 a \end{cases}$$

$$\rightarrow (m_2 - m_1)g = (m_1 + m_2)a$$

$$a = \frac{(m_2 - m_1)}{(m_1 + m_2)} g$$

$$T = \frac{2m_1 m_2}{(m_1 + m_2)} g$$

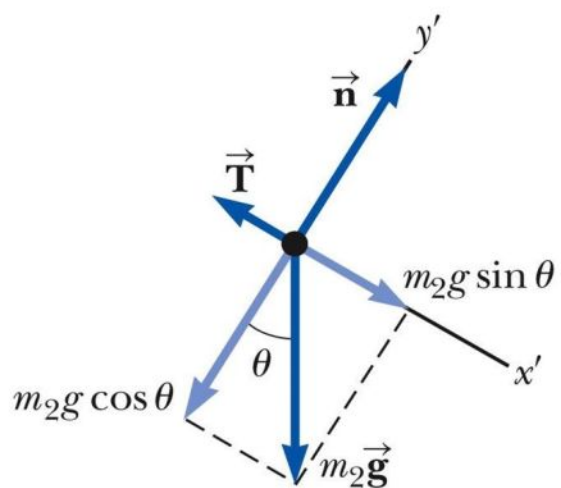


مثال) در مجموعه زیر  $m_1 = 1.7$  و  $m_2 = 3.7$  kg می باشد. شتاب حرکت اجسام و کشش ریسمان را بدست آورید. زاویه سطح شیبدار  $30^\circ$  است.

$$\begin{cases} \sum F_x = ma_x = 0 \\ \sum F_y = ma_y = 0 \end{cases}$$

$$m_1: T - m_1g = m_1a$$

$$m_2: \begin{cases} m_2g \sin \theta - T = m_2a \\ N - m_2g \cos \theta = 0 \end{cases}$$



$$\begin{cases} 3.7 \times 10 \times 0.5 - T = 3.7a \\ T - 1.7 \times 10 = 1.7a \end{cases}$$

$$\rightarrow 18.5 - 17 = (1.7 + 3.7)a \rightarrow a = \frac{1.5}{5.4} = 0.28 \text{ m/s}^2$$

مثبت شدن مقدار شتاب نشان می دهد که جهت انتخابی برای حرکت درست بوده است

$$T - m_1 g = m_1 a \rightarrow T = m_1 (g + a) = 1.7(10 + 0.28)$$

$$T = 17.476 \text{ N}$$