

مبحث دینامیک به بررسی علتها در حرکت و تعیین رابطه علت و معلول در حرکت اجسام می پردازد.  
 علت هرگونه تغییر در حرکت اجسام، عاملی بنام نیرو است که باید از خارج جسم به آن اثر کند.

شتاب  $\vec{a}$  برآیند نیروها  $\Sigma \vec{F}$

برای تعیین رابطه علت و معلول در حرکت، کافایت قوانین نیوتن را بررسی کنیم.

قوانین نیوتن:

۱- قانون اول: اگر بر جسم نیرو وارد نشود (برآیند نیروها صفر باشد) جسم در وضعیت حرکتی خود باقی می ماند (جسم ساکن، همراه ساکن و جسم متحرک، همراه با سرعت ثابت روی خط راست حرکت می کند).

۲- قانون دوم: اگر بر جسم نیرو وارد شود ( $\Sigma \vec{F} \neq 0$ )، جسم در جهت برآیند نیروها شتاب می گیرد که شتاب

اجرم رابطه عکس و با نیرو رابطه مستقیم دارد یعنی:  $\vec{a} = \frac{\Sigma \vec{F}}{m} \leftarrow \Sigma \vec{F} = m \vec{a}$

۳- قانون سوم: اگر جسم ۱ به جسم ۲ نیرو وارد کند، هرگاه جسم ۲ نیز به جسم ۱ همان نیرو را در جهت مخالف وارد می کند، به بیان دیگر، هر عمل را عکس العملی مساوی و در خلاف جهت است.



دقت کنید که نیروهای عمل و عکس العمل همراه بر دو جسم مجزا وارد می شوند، بنابراین در برآیندگیری نیروها، با هم

دید نمی شوند.

نتیجه قوانین نیوتن برای حل مسائل، در قانون دوم ( $\Sigma \vec{F} = m \vec{a}$ ) خلاصه می شود. برای حل مسائل باید مراحل زیر را

دنبال کنیم:

۱- تشخیص نیروی وارد بر جسم و رسم این نیروها از یک نقطه (رسم نمودار آزاد).

۲- انتخاب دستگاه مختصات مناسب (یکی از محورها در راستای حرکت (مثبت حرکت) و محور دیگر عمود بر راستای حرکت)

در صورت نیاز، تجزیه نیروها روی محورهای مختصات.

۴- استفاده از قانون دوم  $\Sigma F = ma$  (همیشه روی محور عمود بر حرکت  $\Sigma F = 0$ ) و تعیین کیفیت مجهول.

نیروهایی که در سطح با آن مواجه می‌شویم دو دسته اند: ۱- نیروی که اندازه و جهت آن داده شده.

۲- نیروی که با استفاده از برخی اطلاعات باید تشخیص داده شود که این دسته شامل موارد زیر است:

الف) نیروی وزن ( $w = mg$ ): نیروی که از طرف زمین بر اجسام وارد می‌شود، جهت این نیرو همیشه عمود بر افق

و بطرف پایین (زمین) است. (به وضعیت قرار گرفتن جسم بستگی ندارد).

ب) نیروی عمودی سطح تماس ( $N$ ): هنگامی که جسم روی سطحی قرار گیرد و به سطح نرسد وارد کند، از طرف سطح به

جسم نیروی وارد می‌شود که همواره بر سطح تماس عمود است و جهت آن به گونه‌ای است که مانع فرو رفتن جسم در سطح شود.

(این نیرو به وضعیت قرار گرفتن جسم وابسته است و هنگامی که جسم از سطح جدا شود  $N = 0$ )

ج) نیروی کشش نخ ( $T$ ): هنگامی که دو یا چند جسم توسط رابط بهم وصل باشند، نیروی که توسط رابط از یک جسم

به جسم دیگر منتقل می‌شود، کشش نخ نام دارد. این نیرو همواره در راستای رابط است و جهت آن در طرف رابط

مخالف هم است. برای رابط سبک (بدون جرم)، کشش در طول یک رابط ثابت است.

د) نیروی اصطکاک ( $f$ ): هنگامی که یک جسم روی سطحی بلغزد، در سطح تماس، نیروی ظاهری می‌شود که بالعکس جهت مخالفت

می‌کند. این نیرو، اصطکاک است. عوامل مؤثر بر اصطکاک: ۱- نیروی عمودی سطح تماس  $N$  ۲- کیفیت و شرایط

سطح تماس (عامل کیفی با ضریب اصطکاک  $\mu$  بیان می‌شود).  $f = \mu N$

اگر کیفیت سطح یکسان باشد، نیروی اصطکاک تابع مستقیم ماکرو اسکوپ سطح تماس نیست.

انواع اصطکاک: ۱- اصطکاک ایستایی  $f_s$ : تا وقتی که جسم ساکن است،  $(\Sigma F = 0)$ ، اصطکاک ایستایی است

تعداد این نیرو، تابع نیروی محرکی است که می‌خواهد جسم را حرکت دهد.

✓ بیشترین مقدار اصطکاک ایستایی مربوط به آستانه حرکت است و داریم  $f_{smax} = \mu_s N$

۲. اصطکاک جنبشی  $f_k$  : هنگامی که جسم در حال لغزش است، اصطکاک آن جنبشی بوده و  $f_k = \mu_k N$

$$f_k < f_{smax} \rightarrow \mu_k N < \mu_s N \rightarrow \mu_k < \mu_s$$

ه، نیروی جانب مرکز: اگر مسیر حرکت جسم مستقیم نباشد و لغزش بخش از دایره به شعاع  $R$  باشد، به دلیل اینکه سرعت

در هر لحظه بر مسیر مماس است، جهت بردار سرعت دائم تغییر می کند (حتی اگر مقدار سرعت ثابت باشد). بنابراین

برداریت تغییر کرده و سبب ایجاد شتاب می شود. جهت این شتاب همواره به طرف مرکز

دایره است (شتاب جانب مرکز) و مقدار آن  $a = \frac{v^2}{R}$  است. از طرفی طبق قانون

نیوتن  $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$ ، وجود شتاب جانب مرکز، دلیلی بر وجود نیروی مرکز گراست

برای یافتن این نیرو، کافایت پس از رسم نمودار آزاد، محور حرکت (مماس بر دایره)

و محور عمود بر حرکت (شعاع) را رسم کرده و برآیند نیروی ردی محور شعاع (سمت مرکز دایره مثبت است) را

به عنوان نیروی جانب مرکز تعیین می کنیم، خواهیم داشت:

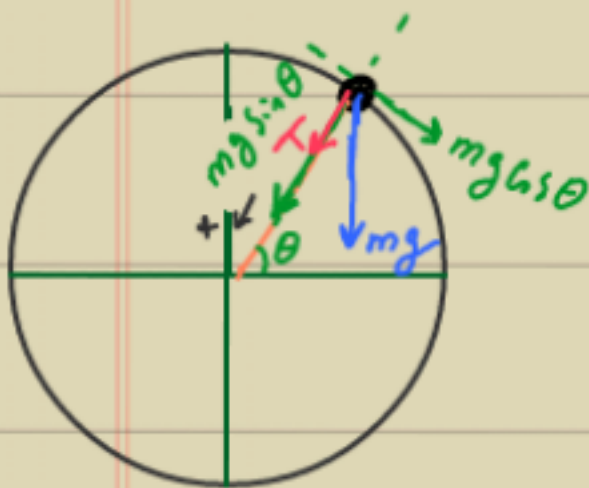
$$\Sigma F = m \frac{v^2}{R}$$

نیروی جانب مرکز

مثال: گلوله ای به جرم  $2\text{ kg}$  به انتهای نخ سبکی به طول  $4\text{ cm}$  بسته و با سرعت  $4\text{ m/s}$  ردی

دایره قائمی چرخانده می شود. هنگامی که نخ با راستای افقی زاویه  $53^\circ$  (رد به بالا) می سازد،

کشش نخ چقدر است؟

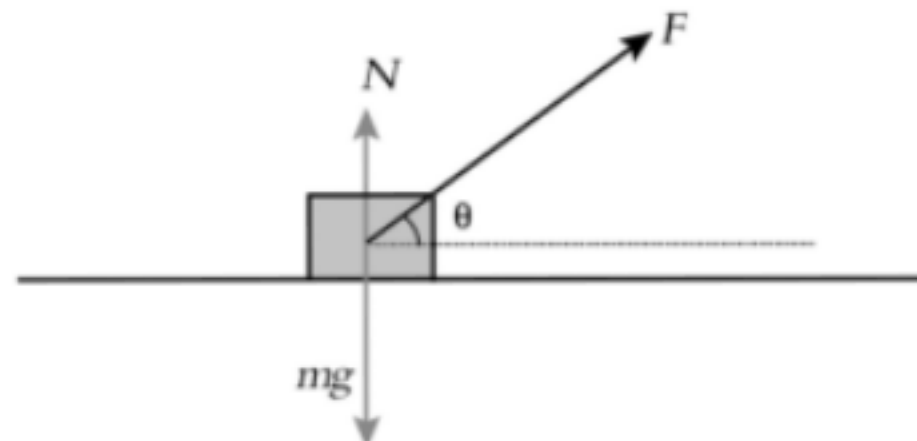


$$\Sigma F = m \frac{v^2}{R} \quad \text{برآیند نیروی ردی محور شعاع}$$

$$T + mg \sin \theta = m \frac{v^2}{R} \rightarrow$$

$$T = m \left( \frac{v^2}{R} - g \sin \theta \right) = 2 \left( \frac{16}{0.04} - 10(0.8) \right) \rightarrow T = 1420 \text{ N}$$

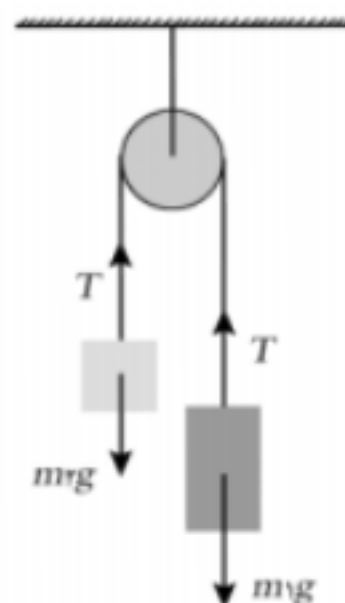
مثال (۵-۲). جسمی به جرم ۵ Kg روی سطح افقی بدون اصطکاک قرار گرفته، نیروی ثابت ۱۰ N که با افق زاویه ۳۰ درجه می‌سازد (به طرف بالا) بر جسم وارد می‌گردد.  
 الف) نمودار آزاد جسم را رسم کنید.  
 ب) شتاب حرکت جسم را محاسبه کنید.  
 حل: الف)



$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \rightarrow \begin{cases} N + F \sin \theta - mg = 0 \\ F \cos \theta = ma \rightarrow 10 \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = 5a \rightarrow a = \sqrt{3} \text{ m/s}^2 \end{cases} \quad \text{ب)}$$

مثال (۵-۴). (ماشین آتود) دو جسم به جرمهای  $m_1$  و  $m_2$  توسط نخ سبکی که از روی قرقره بدون اصطکاک گذشته، به یکدیگر متصل شده‌اند. دستگاه از حال سکون رها می‌شود، مطلوبست: الف) شتاب حرکت هر جسم. ب) کشش نخ دو طرف قرقره.

حل:



الف) با توجه به شکل

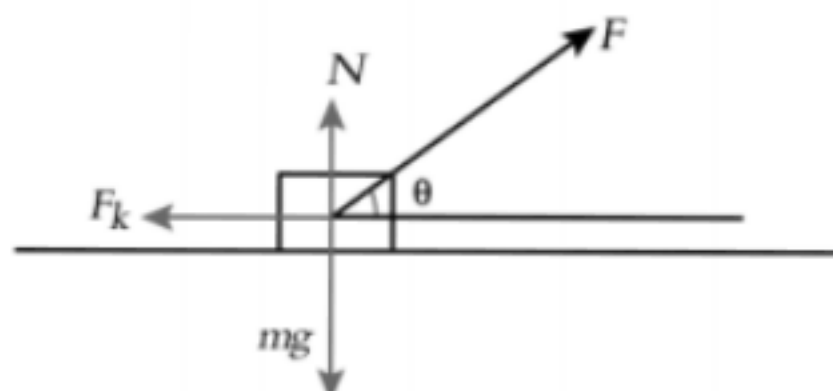
$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \rightarrow \begin{cases} m_1g - T = m_1a \\ T - m_2g = m_2a \end{cases}$$

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

$$T = m_1(g - a) = \frac{2(m_1m_2)}{(m_1 + m_2)}g \quad \text{ب)}$$

مثال (۵-۶). جسمی به جرم  $10 \text{ Kg}$  روی سطح افقی به ضریب اصطکاک جنبشی  $\mu_k = 0.2$  توسط نیروی ثابت  $100 \text{ N}$  که با افق زاویه  $37^\circ$  درجه به طرف بالا می‌سازد، کشیده می‌شود. الف) نمودار آزاد جسم را رسم کنید. ب) نیروی اصطکاک چقدر است؟  
حل:

الف)



$$\sum F_y = 0 \rightarrow N + F \sin \theta - mg = 0 \rightarrow N = mg - F \sin \theta \quad \text{ب)}$$

$$N = 100 - 100(0.6) = 40 \text{ N}$$

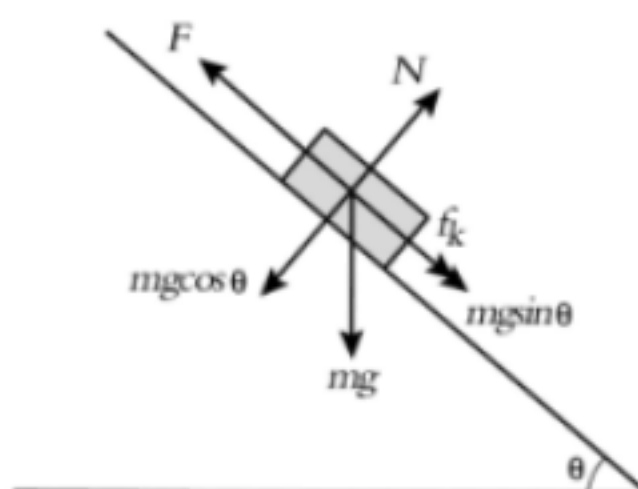
$$f_k = \mu_k N \rightarrow f_k = 0.2(40) = 8 \text{ N}$$

$$\sum F_x = ma \rightarrow F \cos \theta - F_k = ma \quad \text{ج)}$$

$$\rightarrow 100(0.8) - 8 = 10(a) \rightarrow a = 7.2 \text{ m/s}^2$$

مثال (۵-۸). از پایین سطح شیبدار به شیب  $37^\circ$  درجه و ضریب اصطکاک جنبشی  $0.3$  جسمی به جرم  $8 \text{ Kg}$  توسط یک نیروی ثابت موازی سطح شیبدار با سرعت ثابت بالا می‌کشیم؛ مقدار این نیرو چقدر باید باشد؟

حل: شرط سرعت ثابت این است که برآیند نیروهای وارد بر جسم صفر باشد.



$$\sum \vec{F} = 0 \rightarrow \begin{cases} \sum F_y = 0 \rightarrow N - mg \cos \theta = 0 \\ \sum F_x = 0 \rightarrow F - mg \sin \theta - f_k = 0 \end{cases}$$

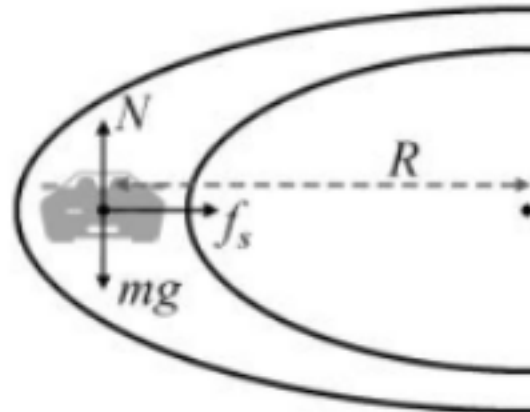
$$N = mg \cos \theta = 8(0.8) = 64 \text{ N}$$

$$f_k = \mu_k N = 0.3(64) = 19.2 \text{ N}$$

$$F = mg \sin \theta + f_k = 8(0.6) + 19.2 = 48 + 19.2 = 67.2 \text{ N}$$

مثال (۵-۱۲). پیچ جاده‌ای افقی به صورت بخشی از کمان دایره‌ای به شعاع  $m = ۱۵۰$  است. اگر ضرایب اصطکاک بین لاستیک اتومبیل با جاده  $\mu_s = ۰/۴$  و  $\mu_k = ۰/۳$  باشد، حداکثر سرعت اتومبیلی که بتواند بدون لغزیدن از پیچ عبور کند چقدر است؟

حل: آنچه باعث می‌شود اتومبیل از پیچ تبعیت کند و روی جاده نلغزد اصطکاک ایستایی است.

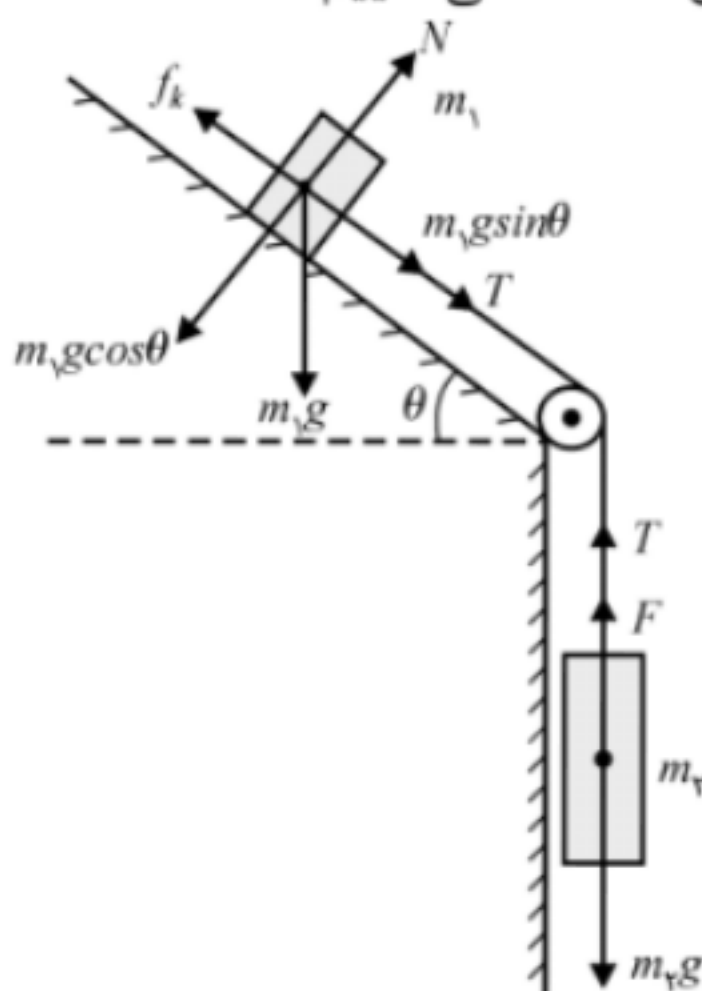


$$\sum F = ma \rightarrow \begin{cases} N - mg = 0 \rightarrow N = mg \\ F_s = mV^2 / R \rightarrow \mu_s mg = mV^2 / R \end{cases}$$

$$\rightarrow V^2 = \mu_s Rg \rightarrow V = \sqrt{0/4 \times 150 \times 10} = \sqrt{600} = 24/5 \text{ m/s}$$

مثال (۵-۱۴). مطابق شکل، جعبه‌ای به جرم  $m_1 = ۲ \text{ kg}$  روی سطح شیب‌دار به شیب  $۳۷^\circ$  و دارای اصطکاک قرار دارد و توسط نخ سبکی که از روی قرقره بدون اصطکاکی گذشته به جعبه‌ای با جرم  $m_2 = ۴ \text{ kg}$  متصل است. نیروی رو به بالایی به اندازه  $۶ \text{ N}$  به اندازه  $m_2$  وارد می‌شود. در این حالت، شتاب دو جسم برابر  $۶ \text{ m/s}^2$  است. کشش نخ و ضریب اصطکاک سطح شیب‌دار را به دست آورید؟ ( $g = ۱۰ \text{ m/s}^2$ )

حل: ابتدا نمودار آزاد را رسم می‌کنیم و سپس از قانون دوم نیوتن استفاده می‌نماییم:



$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow m_2 g - T - F = m_2 a$$

$$\Rightarrow T = m_2 g - m_2 a - F = ۱۰ \text{ N}$$

$$T + m_1 g \sin \theta - f_k = m_1 a \Rightarrow f_k = ۱۰ \text{ N}$$

$$N - m_1 g \cos \theta = 0 \Rightarrow N = ۱۶ \text{ N}$$

$$f_k = \mu_k N \Rightarrow \mu_k = \frac{f_k}{N} = \frac{۱۰}{۱۶} = ۰/۶۲۵$$