

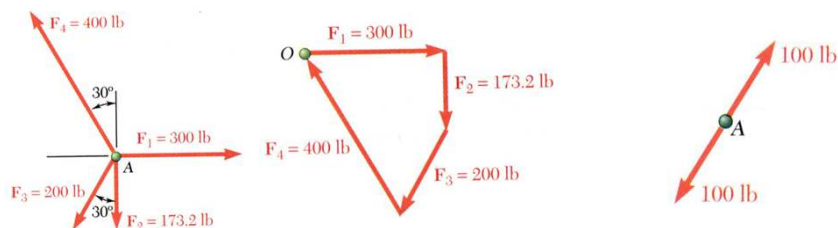
فصل ۳

تعادل یک ذره

گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

تعادل یک ذره

- هنگامی که برآیند تمامی نیروهایی که به ذره اثر می‌کنند صفر باشد، ذره در حال **تعادل** است.
- **قانون اول نیوتن:** اگر نیروی برآیند اعمال شده روی ذره‌ای صفر باشد، ذره در حال سکون باقی می‌ماند یا به حرکت خود در راستای خط مستقیم با سرعت ثابت ادامه می‌دهد.



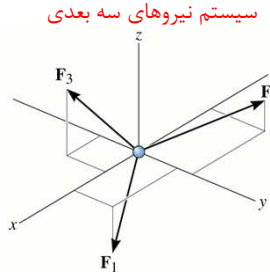
- ذره‌ای که تحت تأثیر دو نیرو قرار دارد در صورتی در حال تعادل است که آن دو نیرو **مساوی، هم راستا و مختلف‌الجهت** باشند.
- ذره‌ای که تحت تأثیر سه نیرو یا بیشتر قرار دارد:
 ۱. روش ترسیمی: یک چند ضلعی بسته خواهد شد.
 ۲. روش جبری

$$\vec{R} = \sum \vec{F} = 0$$

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0$$

۲/35

برای حل مسئله تعادل یک ذره، **ترسیمه آزاد** را رسم کنید که همه نیروهای مؤثر بر آن را نشان می‌دهد. شرایطی که برای تعادل یک ذره باید ارضا شود عبارت است از:



سیستم نیروهای سه بعدی

$$\sum \mathbf{F} = 0$$

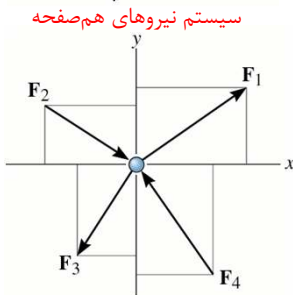
$$\sum F_x \mathbf{i} + \sum F_y \mathbf{j} + \sum F_z \mathbf{k} = 0$$

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum F_z = 0$$

در **دو بعدی**، تنها دو تا از این معادلات نیاز است.



سیستم نیروهای هم‌صفحه

$$\sum \mathbf{F} = 0$$

$$\sum F_x \mathbf{i} + \sum F_y \mathbf{j} = 0$$

$$\sum F_x = 0$$

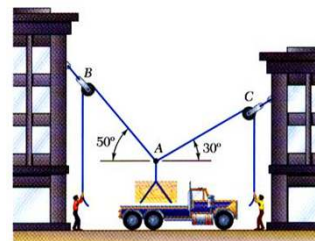
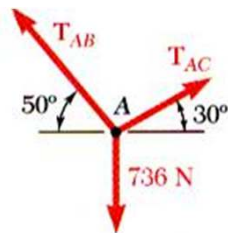
$$\sum F_y = 0$$

علامت مؤلفه‌ها

مؤلفه‌های نیروها بر اساس محورهای مختصات علامت + یا - می‌گیرند. جهت یک نیروی مجهول را می‌توان در ابتدا فرض کرد ولی نتیجه صحیح آن از محاسبات به دست می‌آید.

۳/۳۵

ترسیمه‌های آزاد



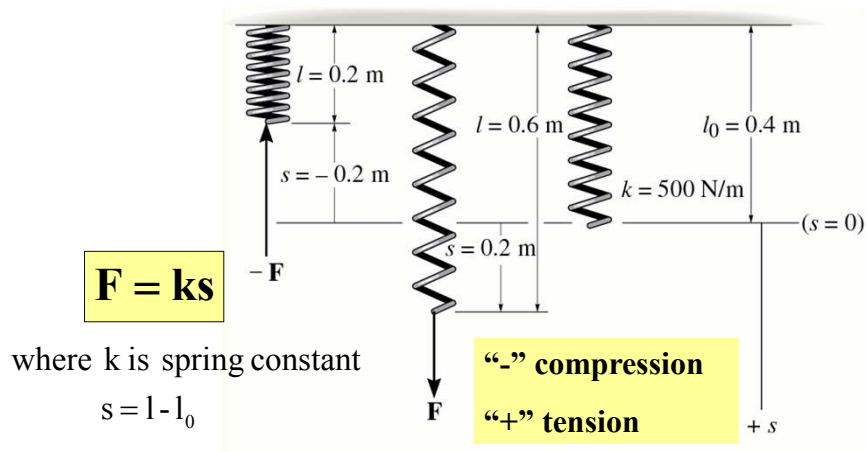
ترسیمه آزاد جسم: ترسیمه‌ای که تنها نیروهای ذره مورد نظر را نشان می‌دهد.

ترسیمه فضایی: ترسیمه‌ای که شرایط فیزیکی مسئله را نشان می‌دهد.

- شکل کلی و خلاصه‌ای ترسیم کنید.
- نقطه را از جسم‌ها جدا کنید.
- همه نیروها را نشان دهید.
- هر نیرو را مشخص کنید.

۴/۳۵

ترسیمه‌های آزاد فنرها

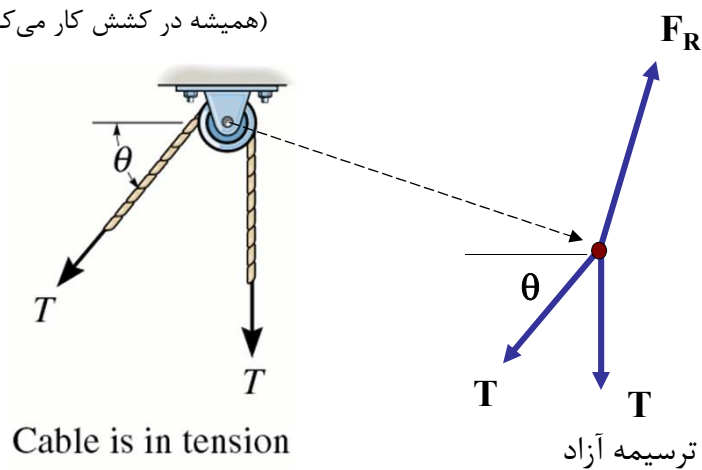


گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۵/35

ترسیمه‌های آزاد کابل‌ها

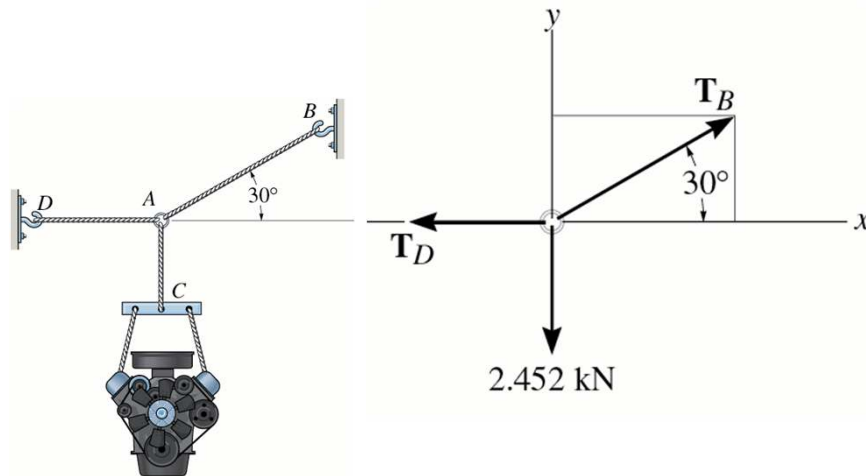
(همیشه در کشش کار می‌کنند.)



گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۶/35

ترسیمه‌های آزاد



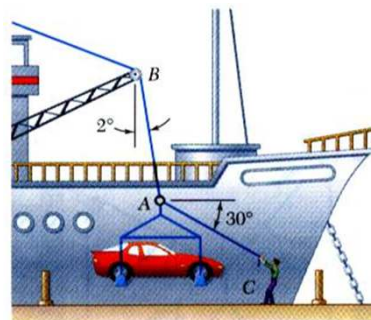
گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۷/35

مسئله نمونه 2.4

حل:

- ترسیمه آزاد را برای ذره‌ای که در محل اتصال کابل و طناب است رسم کنید.
- شرایط تعادل را با رسم چند ضلعی بسته از نیروهای مؤثر بر ذره اعمال کنید.
- برای به دست آوردن نیروی مجهول روابط مربوط به مثلث را استفاده کنید.

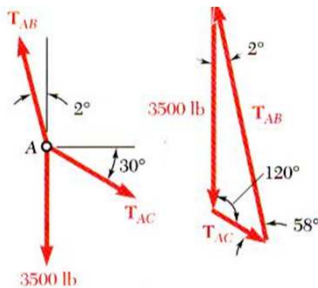
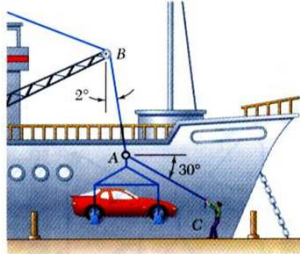


در عملیات بارگیری کشتی، اتومبیلی به وزن 3500-lb با یک کابل جابجا می‌شود. طنابی به کابل متصل شده که اتومبیل را به محل مورد نظر هدایت کند. کشش طناب را به دست آورید.

۸/35

گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

مسئله نمونه 2.4 (ادامه)



• ترسیمه آزاد را برای ذره‌ای که در A است رسم می‌کنیم.

• شرایط تعادل را که بسته بودن چند ضلعی نیروهاست اعمال می‌کنیم.

• مقدار نیروی مجهول را با استفاده از قانون سینوس‌ها در مثلث به دست می‌آوریم.

$$\frac{T_{AB}}{\sin 120^\circ} = \frac{T_{AC}}{\sin 2^\circ} = \frac{3500 \text{ lb}}{\sin 58^\circ}$$

$$T_{AB} = 3570 \text{ lb}$$

$$T_{AC} = 144 \text{ lb}$$

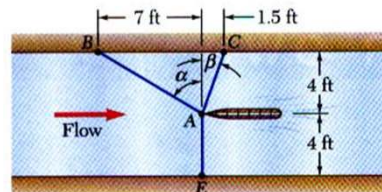
گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

9/35

مسئله نمونه 2.6

حل:

- ترسیمه آزاد بدنه قایق را رسم می‌کنیم.
- شرط تعادل قایق را با نوشتن معادله‌ای که مجموع نیروها باید صفر باشند اعمال می‌کنیم.
- معادله برداری شرط تعادل را به دو معادله مؤلفه‌ای تجزیه می‌کنیم و دو مجهول کشش کابل و نیروی پسا را به دست می‌آوریم.



می‌خواهیم نیروی پسای (drag) وارد شده به بدنه یک قایق نمونه آزمایشگاهی را در یک سرعت مشخص به دست آوریم. مدل را در یک کانال آزمایش قرار می‌دهیم و توسط سه کابل آن را در خط میانی نگه می‌داریم. برای سرعت داده شده، کشش در کابل‌های AB و AE به ترتیب 40 lb و 60 lb است.

نیروی پسای وارد شده به بدنه قایق و کشش کابل AC را به دست آورید.

۱۰/35

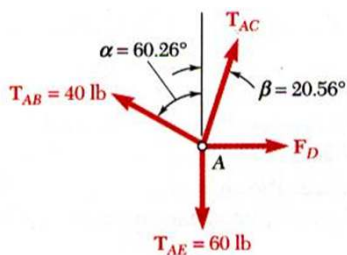
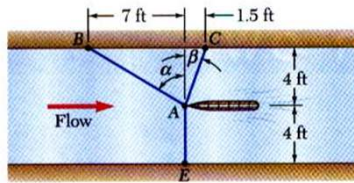
sailboat: قایق کوچک با بادبان یا موتور

MF2

hull: the body of the ship

My Friend: ۱۹/۰۶/۲۰۰۹

مسئله نمونه 2.6 (ادامه)



حل:

- ترسیمه آزاد بدنه قایق را رسم می‌کنیم.

$$\tan \alpha = \frac{7 \text{ ft}}{4 \text{ ft}} = 1.75 \quad \tan \beta = \frac{1.5 \text{ ft}}{4 \text{ ft}} = 0.375$$

$$\alpha = 60.26^\circ \quad \beta = 20.56^\circ$$

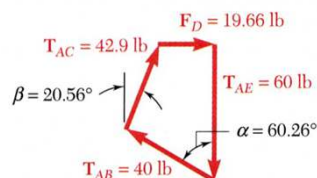
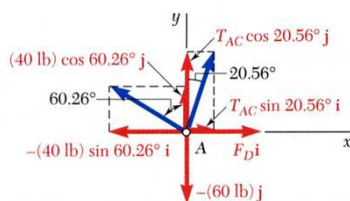
- شرط تعادل قایق را با نوشتن معادله‌ای که مجموع نیروها باید صفر باشند اعمال می‌کنیم.

$$\vec{R} = \vec{T}_{AB} + \vec{T}_{AC} + \vec{T}_{AE} + \vec{F}_D = 0$$

گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۱۱/۳۵

مسئله نمونه 2.6 (ادامه)



- معادله برداری شرط تعادل را به دو معادله مؤلفه‌ای تجزیه می‌کنیم و دو مجهول کشش کابل‌ها را به دست می‌آوریم.

$$\vec{T}_{AB} = -(40 \text{ lb}) \sin 60.26^\circ \vec{i} + (40 \text{ lb}) \cos 60.26^\circ \vec{j}$$

$$= -(34.73 \text{ lb}) \vec{i} + (19.84 \text{ lb}) \vec{j}$$

$$\vec{T}_{AC} = T_{AC} \sin 20.56^\circ \vec{i} + T_{AC} \cos 20.56^\circ \vec{j}$$

$$= 0.3512 T_{AC} \vec{i} + 0.9363 T_{AC} \vec{j}$$

$$\vec{T}_{AE} = -(60 \text{ lb}) \vec{j}$$

$$\vec{F}_D = F_D \vec{i}$$

$$\vec{R} = 0$$

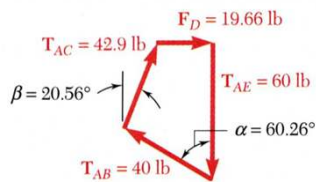
$$= (-34.73 + 0.3512 T_{AC} + F_D) \vec{i}$$

$$+ (19.84 + 0.9363 T_{AC} - 60) \vec{j}$$

گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۱۲/۳۵

مسئله نمونه 2.6 (ادامه)



$$\begin{aligned}\vec{R} &= 0 \\ &= (-34.73 + 0.3512T_{AC} + F_D)\vec{i} \\ &\quad + (19.84 + 0.9363T_{AC} - 60)\vec{j}\end{aligned}$$

معادله در صورتی برابر صفر می شود که هر مؤلفه برآیند صفر باشد.

$$\begin{aligned}(\sum F_x = 0) \quad 0 &= -34.73 + 0.3512T_{AC} + F_D \\ (\sum F_y = 0) \quad 0 &= 19.84 + 0.9363T_{AC} - 60\end{aligned}$$

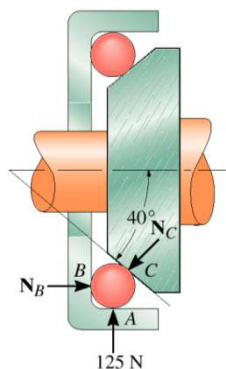
$$\begin{aligned}T_{AC} &= +42.9 \text{ lb} \\ F_D &= +19.66 \text{ lb}\end{aligned}$$

گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۱۳/۳۵

مسئله نمونه 3.1

یافتنی MF3 که از چند ساچمه تشکیل شده، به شکل متقارنی داخل لوله ای قرار گرفته است. ساچمه پایینی در نقطه تماس A نیروی 125 N را به خاطر بار محور تحمل می کند. برای برقراری تعادل، نیروی عکس العمل عمودی N_C و N_B که در نقاط تماس B و C اثر می کنند را به دست آورید.



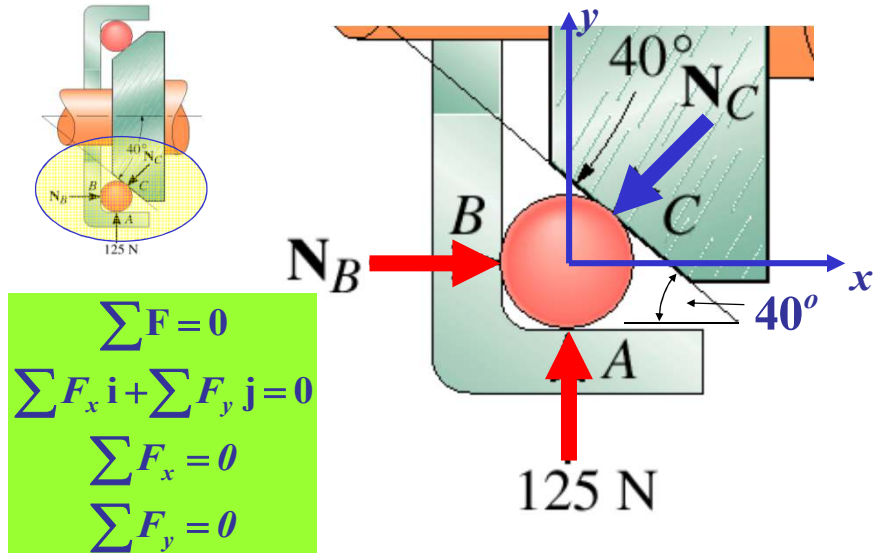
گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۱۴/۳۵

confined: محدود شده
My Friend: ۱۶/۰۲/۲۰۱۰

MF3

مسئله نمونه 3.1

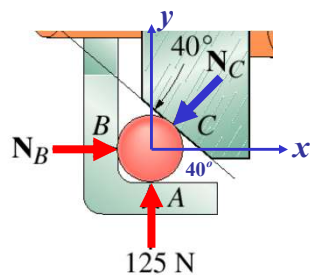


$$\begin{aligned}\sum \mathbf{F} &= \mathbf{0} \\ \sum F_x \mathbf{i} + \sum F_y \mathbf{j} &= \mathbf{0} \\ \sum F_x &= 0 \\ \sum F_y &= 0\end{aligned}$$

گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۱۵/۳۵

مسئله نمونه 3.1- حل



معادلات تعادل

$$\begin{aligned}\sum \mathbf{F} &= \mathbf{0} \\ \sum F_x \mathbf{i} + \sum F_y \mathbf{j} &= \mathbf{0} \\ \sum F_x &= 0 \\ \sum F_y &= 0\end{aligned}$$

ترسیمه آزاد را رسم می کنیم.
معادلات تعادل مؤلفه‌ای را استفاده می کنیم.

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ \sum F_y &= N_A - N_C \cos 40^\circ = 0 \\ N_C &= \frac{N_A}{\cos 40^\circ} = \frac{125 \text{ N}}{.766} \\ \mathbf{N_C} &= \mathbf{163.2 \text{ N}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ \sum F_x &= N_B - N_C \sin 40^\circ = 0 \\ N_B &= N_C \sin 40^\circ = 163.2 (.643) \text{ N} \\ \mathbf{N_B} &= \mathbf{105 \text{ N}}\end{aligned}$$

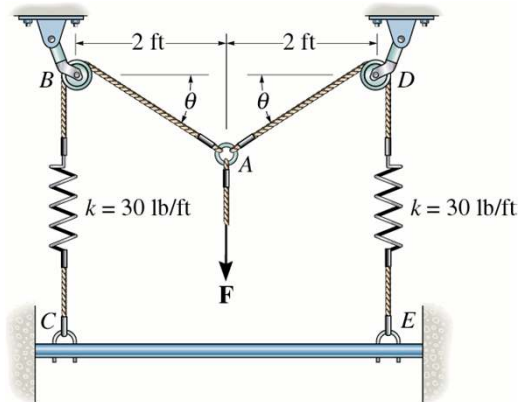
توجه: از آنجا که جواب‌های N_C و N_B مثبتند، جهت‌های در نظر گرفته شده صحیح است.

گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۱۶/۳۵

مسئله نمونه 3.2

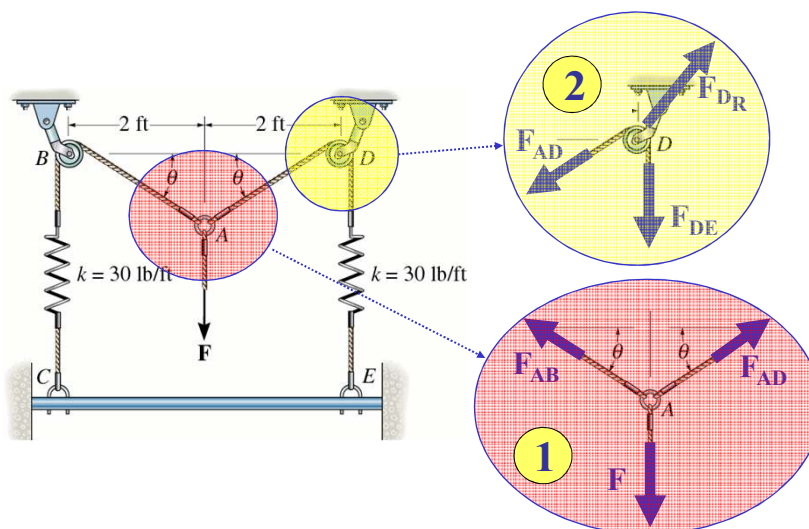
فهرهای روی سیستم زیر در حالت اولیه $\theta = 0^\circ$ به اندازه ۱ فوت باز می‌شود. نیروی عمودی F را چنان بیابید که $\theta = 30^\circ$ شود. همچنین نیروهای عکس‌العمل در D و B را بیابید.



گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۱۷/۳۵

مسئله نمونه 3.2

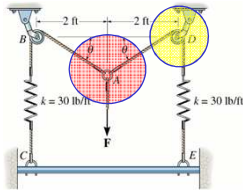


گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۱۸/۳۵

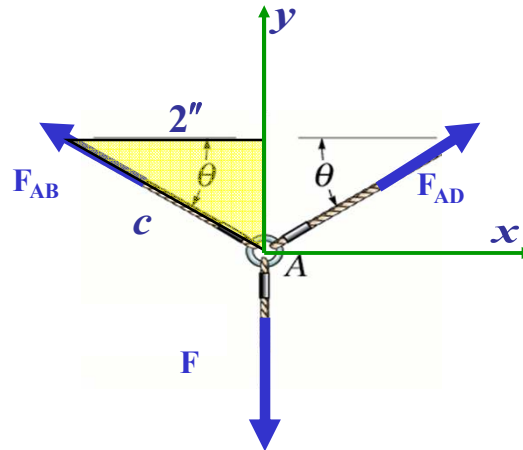
مسئله نمونه 3.2

ترسیمه آزاد جسم را رسم می کنیم.
از مثلث نشان داده شده کشیدگی فنر را به دست می آوریم.



$$\sum F_x = 0$$

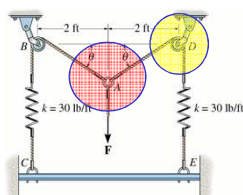
$$\sum F_y = 0$$



گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

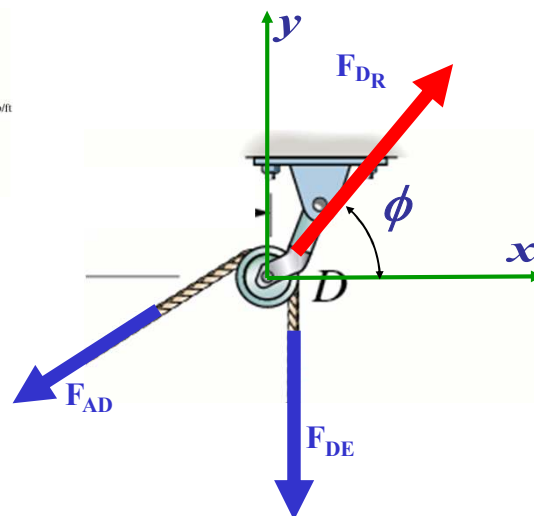
۱۹/۳۵

مسئله نمونه 3.2- حل



$$\sum F_x = 0$$

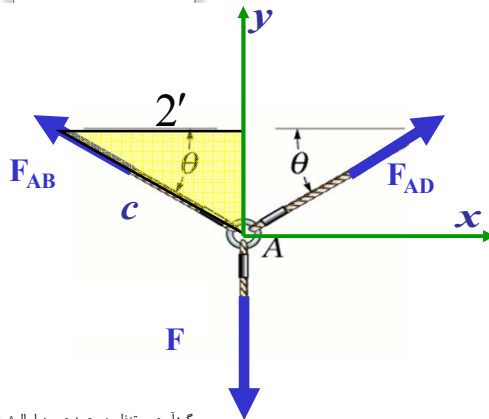
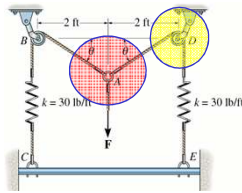
$$\sum F_y = 0$$



گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۲۰/۳۵

مسئله نمونه 3.2- حل



$$c \cos 30^\circ = 2' \text{ or } c = \frac{2}{\cos 30^\circ} = 2.309'$$

کشیدگی اولیه عبارت است از:

$$s = 1' \text{ at } \theta = 0^\circ$$

کشیدگی جدید عبارت است از:

$$s = 1' + (c - 2) \text{ at } \theta = 30^\circ$$

$$s = 1.309'$$

کشش (نیرو) در کابل‌ها عبارتست از:

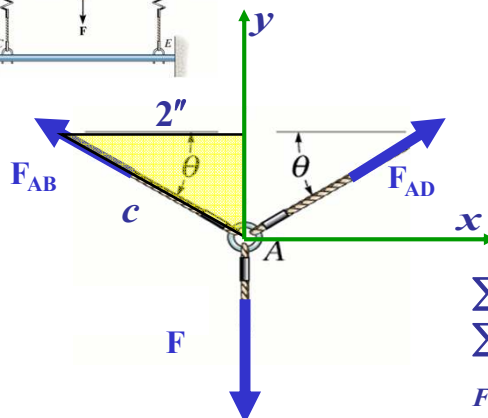
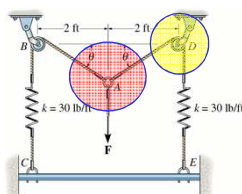
$$F_{AD} = F_{AB} = ks = 30(1.309)$$

$$F_{AD} = F_{AB} = 39.28 \text{ lb}$$

گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۲۱/۳۵

مسئله نمونه 3.2- حل



از معادلات تعادل استفاده می‌کنیم و نیروی F را به دست می‌آوریم.

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_x = F_{AD} \cos 30^\circ - F_{AB} \cos 30^\circ = 0$$

$$F_{AD} = F_{AB}$$

$$F_{AD} = F_{AB} = 39.28 \text{ lb}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum F_y = F_{AB} \sin 30^\circ + F_{AD} \sin 30^\circ - F = 0$$

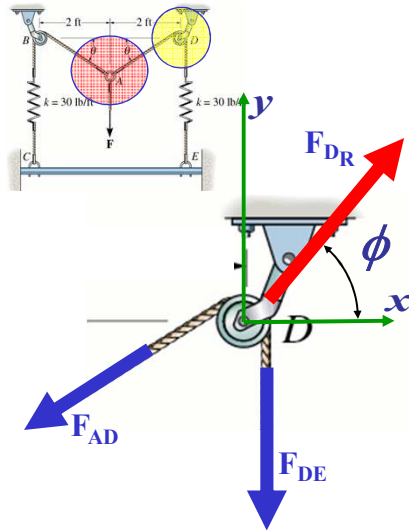
$$F = \frac{1}{2} F_{AB} + \frac{1}{2} F_{AD} = F_{AB} = F_{AD} = 39.28 \text{ lb}$$

گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۲۲/۳۵

مسئله نمونه 3.2- حل

از معادلات تعادل استفاده می‌کنیم و نیروی F_{DR} را به دست می‌آوریم.



$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_x = F_{DR} \cos \phi - F_{AD} \cos 30^\circ = 0$$

$$F_{DR} \cos \phi = F_{AD} \cos 30^\circ \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum F_y = F_{DR} \sin \phi - F_{AD} \sin 30^\circ - F_{DE} = 0$$

$$F_{AD} = F_{DE} \quad \text{ولی کشش‌ها مساوی‌اند:}$$

$$F_{DR} \sin \phi = F_{AD} \sin 30^\circ + F_{DE} = F_{AD} \sin 30^\circ + F_{AD}$$

$$F_{DR} \sin \phi = \frac{1}{2} F_{AD} + F_{AD} = \frac{3}{2} F_{AD} \quad (2)$$

$$F_{DR} \sin \phi = 58.92 \text{ lb}$$

از تقسیم روابط (۲) بر (۱) داریم:

$$\frac{F_{DR} \sin \phi}{F_{DR} \cos \phi} = \tan \phi = \frac{58.92}{39.28 \cos 30} = 1.731$$

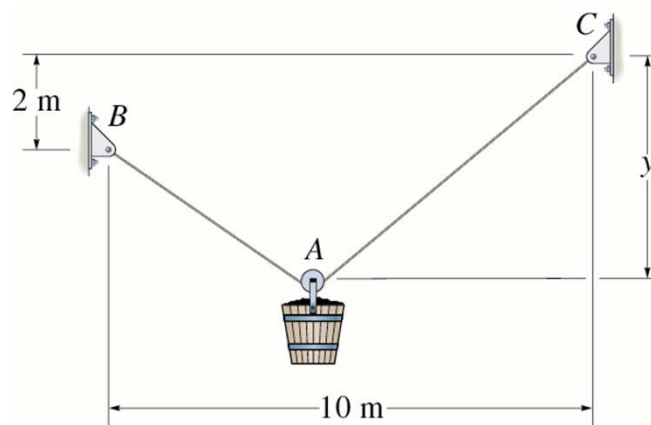
$$\phi = 60^\circ$$

۲۳/۳۵

گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

مسئله نمونه 3.3

جرم سطل و محتویات آن 60 kg است. برای تعادل، فاصله y را بیابید. طول کابل 15 m است. از اندازه پولی صرف‌نظر کنید.

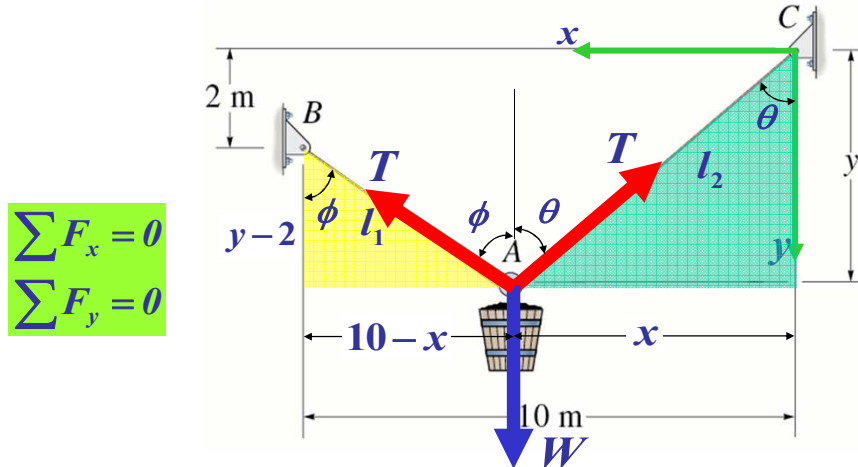


گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۲۴/۳۵

مسئله نمونه 3.3

ترسیمه آزاد را رسم می کنیم.
معادلات تعادل را نوشته و مجهولات را به دست می آوریم.



گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۲۵/۳۵

مسئله نمونه 3.3 - حل

از هندسه داریم:

$$l_1 = \sqrt{(10-x)^2 + (y-2)^2}$$

$$l_2 = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\tan \theta = \frac{x}{y} = \frac{10-x}{y-2} = \tan \phi$$

از تشابه مثلث ها داریم:

$$\frac{10-x}{x} = \frac{y-2}{y} = \frac{l_1}{l_2}$$

با استفاده از تعریف l_1 و l_2 داریم:

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{\sqrt{(10-x)^2 + (y-2)^2}}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

و

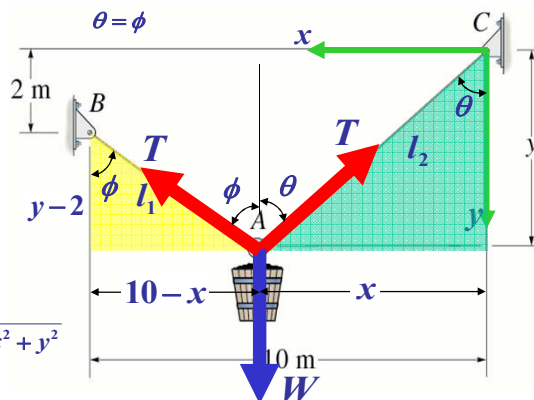
$$l_1 + l_2 = 15 = \sqrt{(10-x)^2 + (y-2)^2} + \sqrt{x^2 + y^2}$$

ترسیمه آزاد را رسم می کنیم.
معادلات تعادل را حل می کنیم.

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_x = T \cos \theta - T \cos \phi = 0$$

$$\theta = \phi$$



گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۲۶/۳۵

مسئله نمونه 3.3- حل

$$l_1 + l_2 = 15 = \sqrt{(10-x)^2 + (y-2)^2} + \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$15 = \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) \sqrt{(10-x)^2 + (y-2)^2} + \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$15 = \left[\frac{\sqrt{(10-x)^2 + (y-2)^2}}{\sqrt{x^2 + y^2}} + 1 \right] \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$15 = \sqrt{x^2 + y^2} \left[\frac{l_1}{l_2} + 1 \right]$$

$$= \sqrt{x^2 + y^2} \left[\frac{10-x}{x} + 1 \right]$$

$$\left[\frac{10-x}{x} + 1 \right] = \frac{15}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

$$\frac{10}{x} = \frac{15}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

$$x = \sqrt{0.8} y$$

با استفاده از سایر معادلات داریم:

$$\frac{10-x}{x} = \frac{y-2}{y}$$

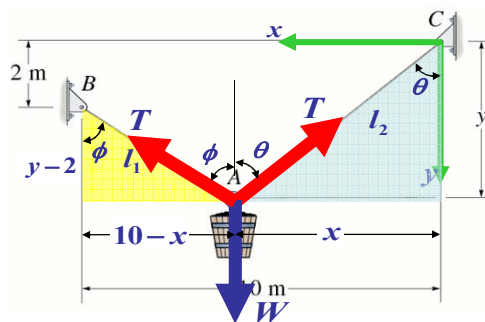
$$x = \frac{5y}{y-1}$$

از حل دو معادله داریم:

$$y = 6.59 \text{ m}$$

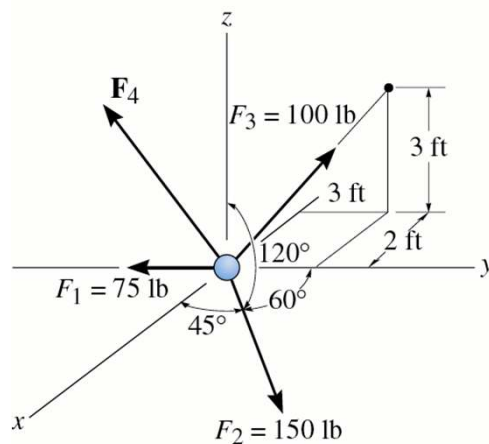
$$x = 5.89 \text{ m}$$

۲۷/۳۵

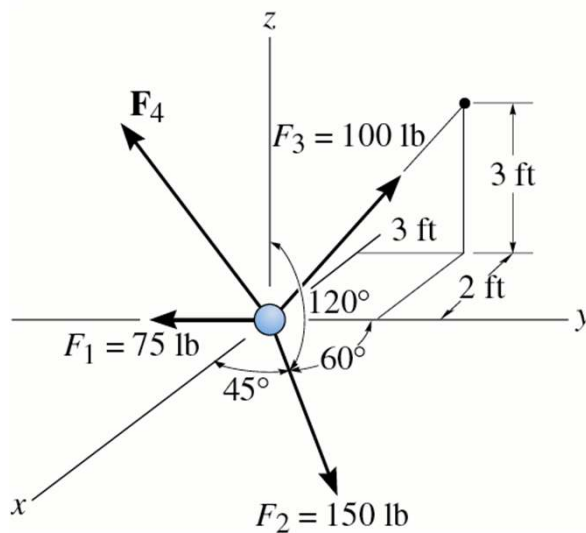


مسئله نمونه 3.4

مقدار نیروی F_4 و زوایای آن با محورهای مختصات را برای آن که ذره در حال تعادل باشد به دست آورید.



مسئله نمونه 3.4



$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ \sum F_y &= 0 \\ \sum F_z &= 0\end{aligned}$$

گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۲۹/۳۵

مسئله نمونه 3.4 - حل

$$F_1 = -75j$$

$$F_2 = 150 \cos 45^\circ i + 150 \cos 60^\circ j + 150 \cos 120^\circ k$$

$$F_2 = 106.1i + 75j - 75k$$

با تعریف بردار موقعیت r_3 نیروی F_3 را به دست می‌آوریم.

$$|r_3| = \sqrt{(x_3)^2 + (y_3)^2 + (z_3)^2} = \sqrt{(-2)^2 + (3)^2 + (3)^2}$$

$$|r_3| = \sqrt{22}$$

$$u_3 = \frac{x_3}{|r_3|}i + \frac{y_3}{|r_3|}j + \frac{z_3}{|r_3|}k$$

$$F_3 = |F_3|u_3 = 100 \left(\frac{-2}{\sqrt{22}}i + \frac{3}{\sqrt{22}}j + \frac{3}{\sqrt{22}}k \right)$$

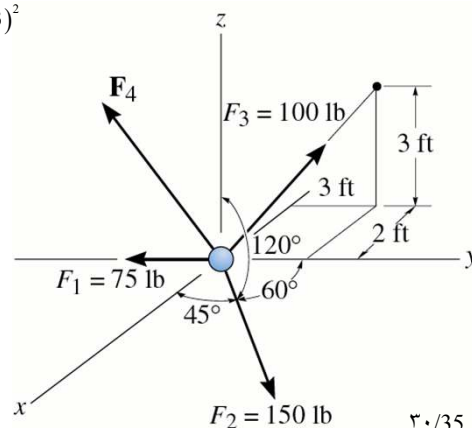
$$F_3 = -42.64i + 63.96j + 63.96k$$

اگر فرض کنیم: $F_4 = F_{4x}i + F_{4y}j + F_{4z}k$
از معادلات تعادل داریم:

$$\sum F_x = 0 = (0) + (106.1) + (-42.64) + F_{4x}$$

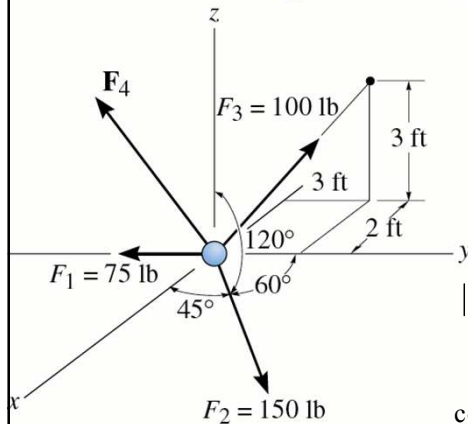
$$F_{4x} = -63.43 \text{ lb}$$

ترسیمه آزاد را رسم می‌کنیم.
بردارهای کارتزین را تعریف می‌کنیم.
معادلات تعادل را حل می‌کنیم.



۳۰/۳۵

مسئله نمونه 3.4 - حل



$$\sum F_y = 0 = (-75) + (75) + (63.96) + F_{4_y}$$

$$F_{4_y} = -63.96 \text{ lb}$$

$$\sum F_z = 0 = (0) + (-75) + (63.96) + F_{4_z}$$

$$F_{4_z} = 11.04 \text{ lb}$$

مقدار نیرو:

$$|F_4| = \sqrt{(F_{4_x})^2 + (F_{4_y})^2 + (F_{4_z})^2} = 90.75 \text{ lb}$$

کسینوس دایرکتوری‌ها:

$$\cos \alpha = \frac{F_{4_x}}{|F_4|} = .6989 \quad \alpha = 134^\circ$$

$$\cos \beta = \frac{F_{4_y}}{|F_4|} = .7048 \quad \beta = 135^\circ$$

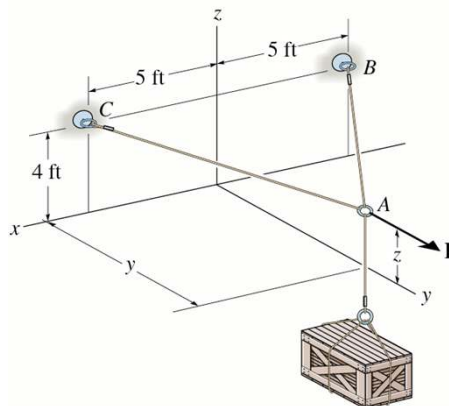
$$\cos \gamma = \frac{F_{4_z}}{|F_4|} = .1216 \quad \gamma = 134^\circ$$

گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۳۱/۳۵

مسئله نمونه 3.5

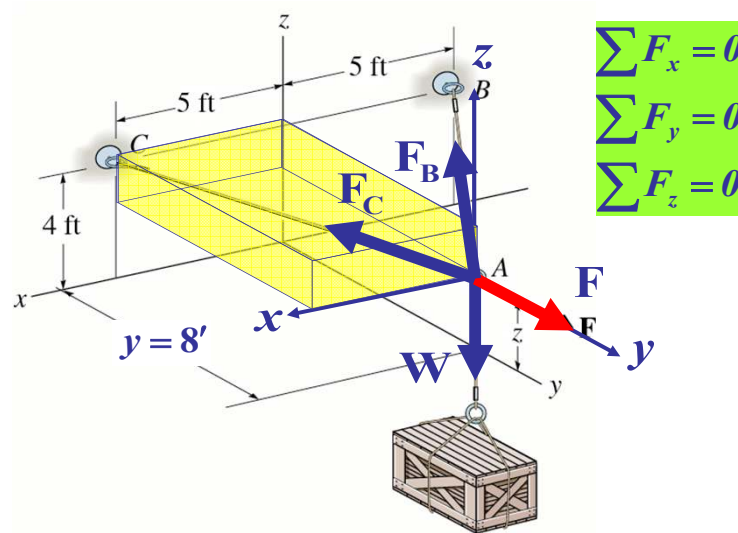
اگر کشش مجاز ماکزیمم در کابل‌های AB و AC ، 500 lb باشد، ماکزیمم ارتفاع Z که قفس به وزن 200 lb را می‌توان بلند کرد بیابید. چه نیروی افقی باید اعمال شود. $y = 8 \text{ ft}$ در نظر بگیرید.



گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۳۲/۳۵

مسئله نمونه 3.5



گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۳۳/۳۵

مسئله نمونه 3.5 - حل

ترسیمه آزاد را رسم می کنیم.

بردارهای کارتیزین را تعریف می کنیم.

معادلات تعادل را حل می کنیم.

$$F = F\mathbf{j}$$

$$F_C = F_C u_C = F_C \frac{5\mathbf{i} - 8\mathbf{j} + (4-z)\mathbf{k}}{\sqrt{(5)^2 + (-8)^2 + (4-z)^2}}$$

$$F_C = F_B = 500 \text{ lb}$$

$$F_B = F_C \frac{-5\mathbf{i} - 8\mathbf{j} + (4-z)\mathbf{k}}{\sqrt{(-5)^2 + (-8)^2 + (4-z)^2}}$$

$$W = -200\mathbf{k}$$

معادلات تعادل:

$$\sum F_x = 0 = F_C \frac{5}{\sqrt{(5)^2 + (-8)^2 + (4-z)^2}} - F_B \frac{5}{\sqrt{(-5)^2 + (-8)^2 + (4-z)^2}}, \quad F_C = F_B$$

$$\sum F_y = 0 = -F_C \frac{8}{\sqrt{(5)^2 + (-8)^2 + (4-z)^2}} - F_B \frac{8}{\sqrt{(-5)^2 + (-8)^2 + (4-z)^2}} + F, \quad -2F_C \frac{8}{\sqrt{(5)^2 + (-8)^2 + (4-z)^2}} + F = 0$$

$$\sum F_z = 0 = F_C \frac{(4-z)}{\sqrt{(5)^2 + (-8)^2 + (4-z)^2}} + F_B \frac{(4-z)}{\sqrt{(-5)^2 + (-8)^2 + (4-z)^2}} - 200, \quad 2F_C \frac{(4-z)}{\sqrt{(5)^2 + (-8)^2 + (4-z)^2}} - 200 = 0$$

۳۴/۳۵

مسئله نمونه 3.5- حل

معادلات مؤلفه‌های y و z را بر هم تقسیم می‌کنیم.

$$\frac{4-z}{8} = \frac{200}{F_C}$$

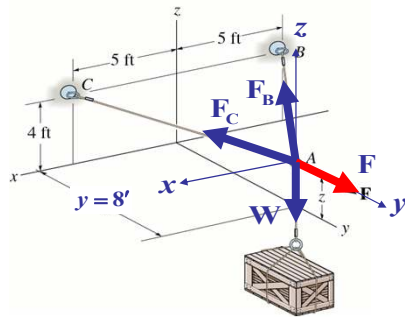
$$F_C = \frac{1600}{4-z}$$

در معادله z جایگذاری می‌کنیم.

$$\frac{8000}{F_C} = \sqrt{89 + \left(\frac{1600}{F_C}\right)^2}$$

$$F_C = 831 \text{ lb}$$

$$z = 2.07 \text{ ft}$$



گردآوری و تنظیم: محمدحسین ابوالیشری

۳۵/۳۵

