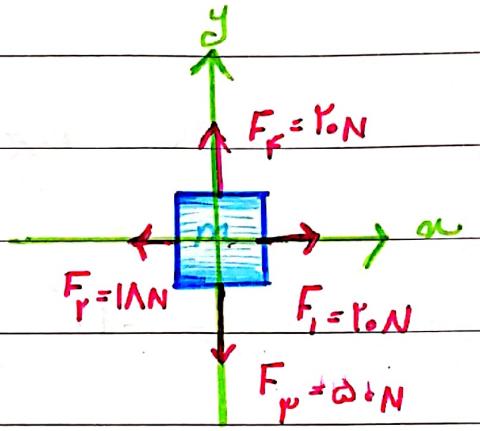
## نحوه محاسبه نیروی خالص وارد بر یک جسم ($F_{net}$)

در هر یک از شکل های زیر نیروی خالص وارد بر جسم را محاسبه کنید:




در راستای محور x: (جهت + راست، جهت − چپ)

$$F_{net} = (F_1 - F_2)\hat{i}$$
$$F_{net} = (20 - 18)\hat{i}$$
$$F_{net} = (2)\hat{i}$$ واحد نیوتون

در راستای محور y:

$$F_{net} = (F_4 - F_3)\hat{j}$$
$$F_{net} = (20 - 50)\hat{j}$$
$$F_{net} = (-30)\hat{j}$$ واحد نیوتون

برآیند بردار F:

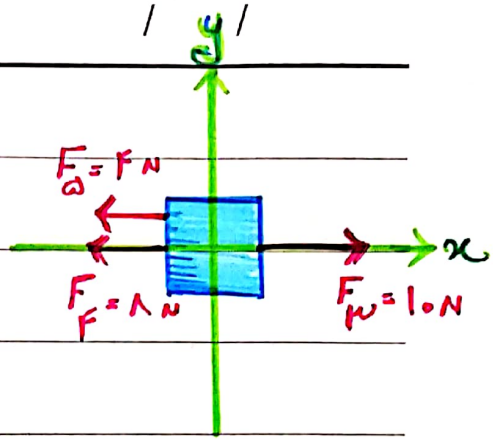
$$\vec{F}_{net} = 2\hat{i} - 30\hat{j}$$

اندازه F:

$$|F| = \sqrt{(2)^2 + (-30)^2} = \sqrt{4 + 900} =$$ بی عدد ✓

■ وقتی به جسمی چند نیرو اثر کند ← برآیند آنها را نیروی خالص می نویسیم.

■ اگر نیروی خالص وارد بر جسمی صفر باشد ← می گوییم نیروها متوازن اند.

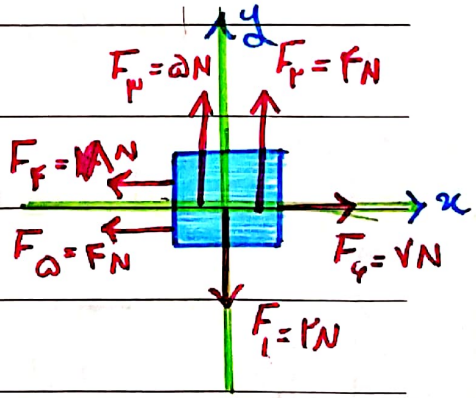



در راستای محور x : $\begin{cases} F_{net} = (F_\mu - F_F - F_5)\,\hat{i} \\ F_{net} = (10 - 8 - 4)\,\hat{i} \\ F_{net} = (-2)\,\hat{i} \end{cases}$

در راستای محور y : $F_{net} = (0)\,\hat{j}$

بردار برآیند : $F_{net} = (-2)\,\hat{i} + (0)\,\hat{j}$

اندازه $F_{net}$ : $|F_{net}| = \sqrt{(-2)^2 + (0)^2} = \sqrt{4+0} = 2\ N$ متوازن نیست

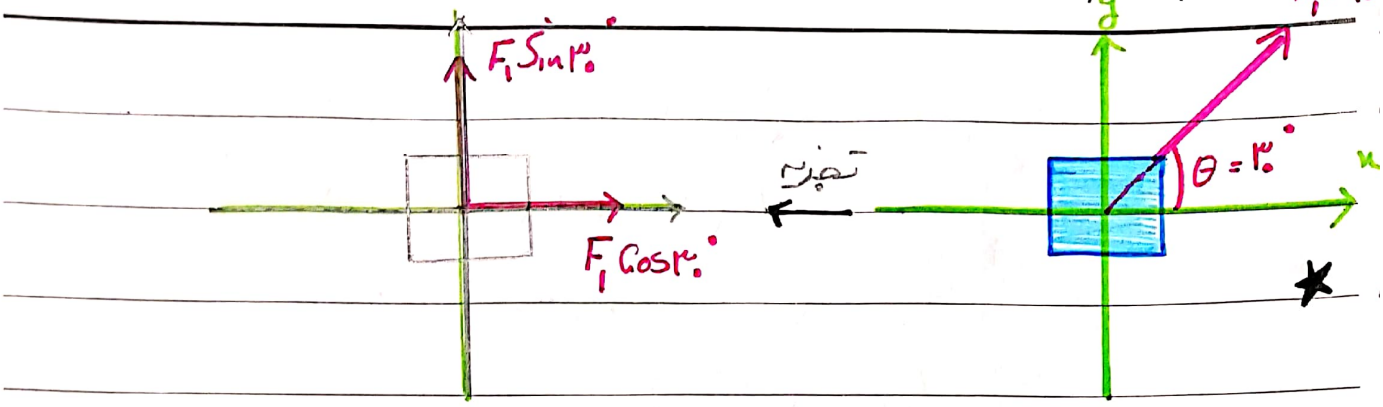



در راستای محور x : $\begin{cases} F_{net} = (F_4 - F_5 - F_F)\,\hat{i} \\ F_{net} = (7 - 4 - 8)\,\hat{i} \\ F_{net} = (-5)\,\hat{i} \end{cases}$

در راستای محور y : $\begin{cases} F_{net} = (F_2 + F_\mu - F_1)\,\hat{j} \\ F_{net} = (4 + 5 - 2)\,\hat{j} \\ F_{net} = (7)\,\hat{j} \end{cases}$

$F_{net} = (-5)\,\hat{i} + (7)\,\hat{j}$ $\quad |F_{net}| = \sqrt{(-5)^2 + (7)^2} = \sqrt{\ }\ N$

متوازن نیست




در راستای x: $F_{net} = (F_1 \cos 30^\circ)\hat{i}$

$F_{net} = (20\,(0,86))\hat{i} \leftarrow 17,32\,\hat{i}$

$F_{net} = (17,32)\,\hat{i}$ نیوتن

در راستای y: $F_{net} = (F_1 \sin 30^\circ)\hat{j}$

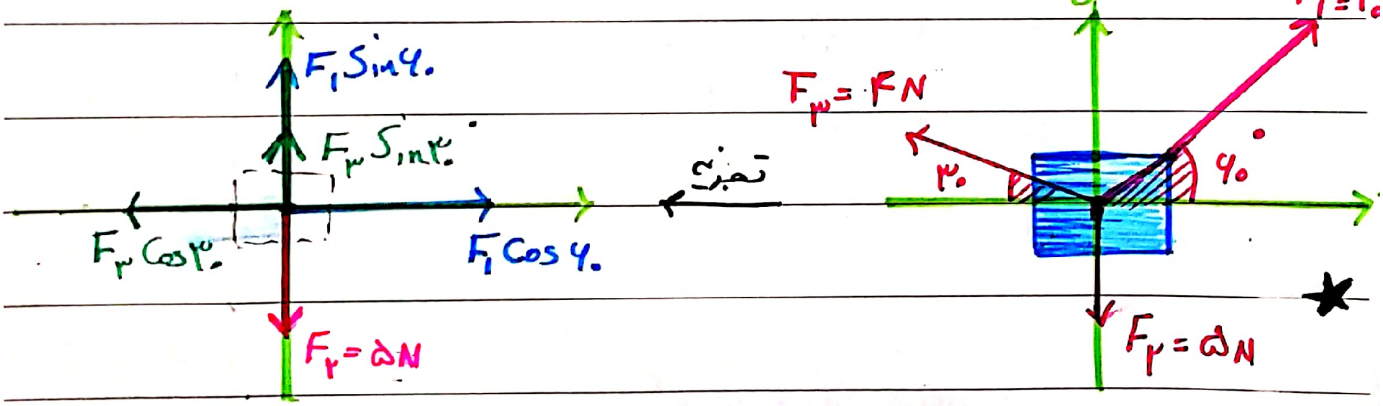
$F_{net} = (20 \times (\frac{1}{2}))\,\hat{j}$

$F_{net} = (10)\,j$

برآیند $F_{net} = 17,32\,\hat{i} + 10\,\hat{j}$

$|F_{net}| = \sqrt{(17,32)^2 + (10)^2} = \sqrt{}$

متوازن نیست




در راستای x: $F_{net} = (F_1 \cos 45^\circ - F_2 \cos 30^\circ)\hat{i}$

$F_{net} = (10\,(\frac{1}{2}) - 4\,(0,86))\,\hat{i}$

$F_{net} = (5 - 3,44)\,\hat{i}$

$F_{net} = (1,56)\,\hat{i}$

/ /

در راستای $y$:

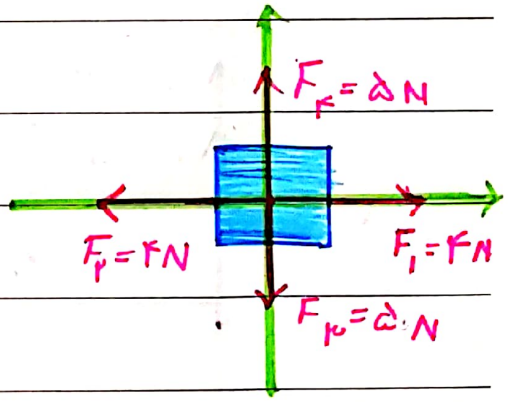
$$F_{net} = (F_1 \sin 60 + F_3 \sin 30 - F_4)\hat{j}$$
$$F_{net} = (10(0.84) + 4(\frac{1}{2}) - 5)\hat{j}$$
$$F_{net} = (8.4 + 2 - 5)\hat{j}$$
$$F_{net} = (5.4)\hat{j}$$

برآیند:

$$F_{net} = (1.53)\hat{i} + (5.4)\hat{j}$$
$$|F_{net}| = \sqrt{(1.53)^2 + (5.4)^2} = \checkmark$$

در راستای $x$:

$$F_{net} = (F_1 - F_2)\hat{i}$$
$$F_{net} = (4 - F)\hat{i}$$
$$F_{net} = (0)\hat{i}$$




در راستای $y$:

$$F_{net} = (F_4 - F_3)\hat{j}$$
$$F_{net} = (5 - 5)\hat{j}$$
$$F_{net} = (0)\hat{j}$$

$$F_{net} = 0\,\hat{i} + 0\,\hat{j} \qquad |F_{net}| = \sqrt{(0)^2 + (0)^2} = 0$$

برآیند نیروها صفر شد. پس نیروها متوازن اند.

# قوانین حرکت نیوتون

**قانون اول نیوتون:** وقتی نیروهای وارد بر جسم متوازن باشند ($F_{net}=0$)
- اگر ساکن باشد ساکن می‌ماند
- اگر در حال حرکت باشد سرعت آن تغییر نمی‌کند

لختی را تعریف کنید: وقتی نیروهای وارد بر جسم متوازن باشند ← جسم تمایل دارد وضعیت خود را حفظ کند
به این خاصیت لختی می‌گوییم.

**قانون دوم نیوتون:** وقتی نیروهای وارد بر جسم متوازن نباشند ← سرعتش جسم تغییر می‌کند ($\Delta v$)
یا به عبارت دیگر نیروی خالص صفر نباشد
جسم شتاب در راستای $F_{net}$ پیدا می‌کند.

زیما: $\Sigma$

برایند $\Sigma F \rightarrow F_{net}$ یا زیما

در راستای $x$: $\Sigma F_x = ma_x$

در راستای $y$: $\Sigma F_y = ma_y$

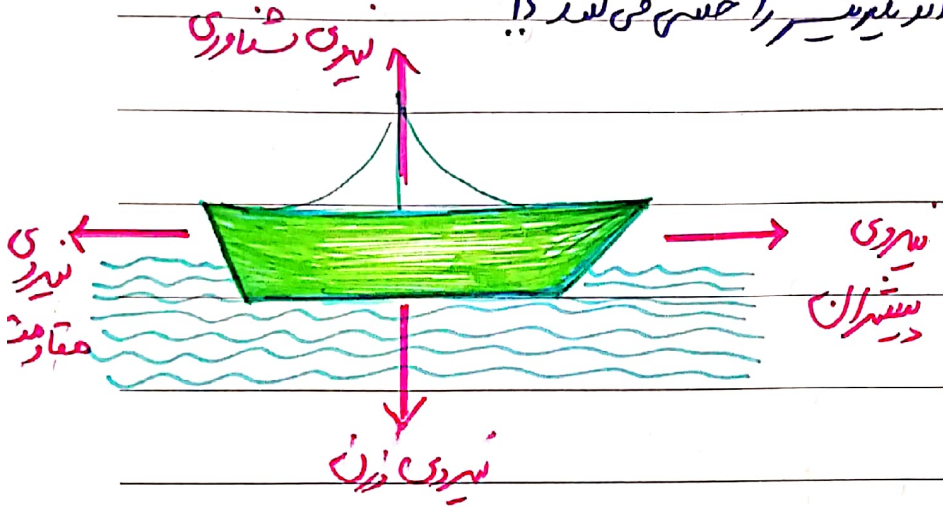
$F_{net}$ و $a$ همیشه هم جهت‌اند.
اگر $a=0$ باشد $F_{net}=0$ می‌شود.

**قانون سوم نیوتون:** هرگاه جسمی به جسم دیگر نیرو وارد کند، جسم دوم نیز به جسم اول نیرویی هم اندازه، هم‌راستا، اما در خلاف جهت وارد می‌کند

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

نکته: نمی‌توان نیروهای عمل و عکس‌العمل را برایند گرفت چون نقطهٔ اثر آن‌ها ۲ جسم متفاوت است.

پرسش ۲-۱ تلاب درسی: در شکل روبه‌رو یک کشتی در حال حرکت را می‌بینید که نیروهای وارد بر آن متوازن‌اند. آیا این نیروها اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند؟!




جواب: وقتی نیروها متوازن‌اند یعنی برآیند نیروها در راستای محور $x$ و $y$ صفر است.

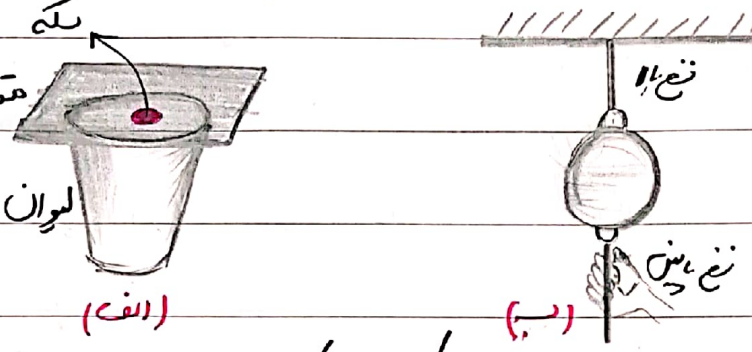
بنابراین $x$ ← نیروی پیشران و نیروی مقاومت یکدیگر را خنثی می‌کنند.
$y$ ← نیروی وزن و نیروی شناوری یکدیگر را خنثی می‌کنند.

پرسش ۲-۲ تلاب درسی: در یک فیلم علمی تخیلی، هوتوریک کشتی فضائی که در فضای تهی، خارج از جو زمین و دور از هر سیاره و خورشید در حرکت است از کار می‌افتد. در نتیجه حرکت کشتی فضائی کند می‌شود و می‌ایستد. آیا این امکان وقوع چنین رویدادی وجود دارد؟ توضیح دهید.

خیر، طبق قانون اول نیوتون وقتی برآیند نیروهای وارد بر جسمی صفر باشد، جسم در حال حرکت با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه می‌دهد.

/ /

پرسش ۲-۳ کتاب درسی: چرا حرکت سریع هوا در شکل الف سبب انتقال سکه در لیوان می‌شود؟ (ب) چرا در شکل ب اگر به آرامی نیروی وارد بر گوی شکلین را زیاد کنیم نخ بالای گوی پاره می‌شود، اما اگر ناگهان نخ را بکشیم نخ پایین آن پاره می‌شود؟




الف: وقتی هوا را به حالت خیلی سریع از زیر سکه بکشیم، سکه بخاطر لختی اش تمایل دارد در جای خود باقی بماند. در نتیجه بلافاصله از حرکت هوا زیر سکه خالی شده و به درون لیوان می‌افتد.

ب) هنگامی که نخ را به آرامی بکشیم ← نیرو انتقال می‌یابد ← نخ بالا جدا می‌شود

هنگامی که نخ را سریع بکشیم ← بدلیل لختی در بازه‌ی زمانی کوتاه فرصت انتقال نیرو به نخ بالائی وجود ندارد ← در نتیجه نخ پایین پاره می‌شود.

سؤال امتحانی: با یک سکه، یک هوا و یک لیوان آزمایشی طراحی کنید که وجود لختی در اجسام را نشان دهد. (۱ نمره)

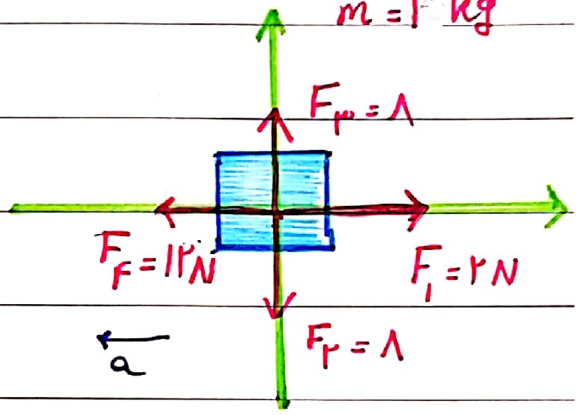
تمرین: "اگر جسمی با شتاب ثابت حرکت کند نیروی خالص وارد بر آن صفر است." آیا این عبارت درست است؟ (۰/۲۵)

خیر اگر جسم با سرعت ثابت حرکت کند نیروی خالص وارد بر آن صفر است.

تمرین: تمایل اجسام به حفظ وضعیت خود را لختی می‌نامیم. (۰/۲۵)

تمرین: در هر یک از شکل های زیر با استفاده از قانون دوم نیوتون شتاب حرکت را محاسبه کنید.

در راستای محور x: $\Rightarrow \begin{cases} \sum F_x = ma_x \\ F_1 - F_F = 2a_x \\ 2 - 12 = 2a_x \\ -10 = 2a_x \\ a_x = -5\,\hat{i} \end{cases}$



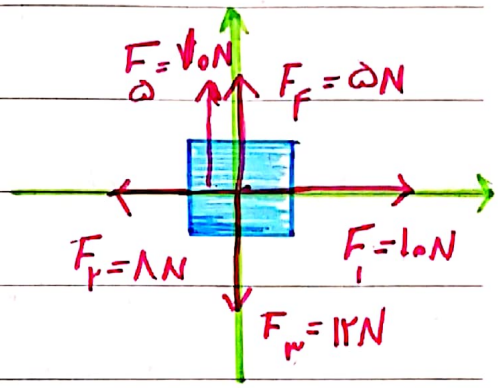

در راستای محور y: $\Rightarrow \begin{cases} \sum F_y = ma_y \\ F_3 - F_2 = 2 \times a_y \\ 8 - 8 = 2a_y \\ a_y = 0\,\hat{j} \end{cases}$

جسم در راستای y شتاب ندارد

$$\begin{cases} \vec{a} = (-5)\hat{i} + (0)\hat{j} \Rightarrow |a| = \sqrt{(-5)^2 + (0)^2} = 5 \\ \vec{F}_{net} = (-10)\hat{i} + (0)\hat{j} \Rightarrow |F_{net}| = \sqrt{(-10)^2 + (0)^2} = 10 \end{cases}$$

/ /

$m = 2\,kg$




در راستای $x$:

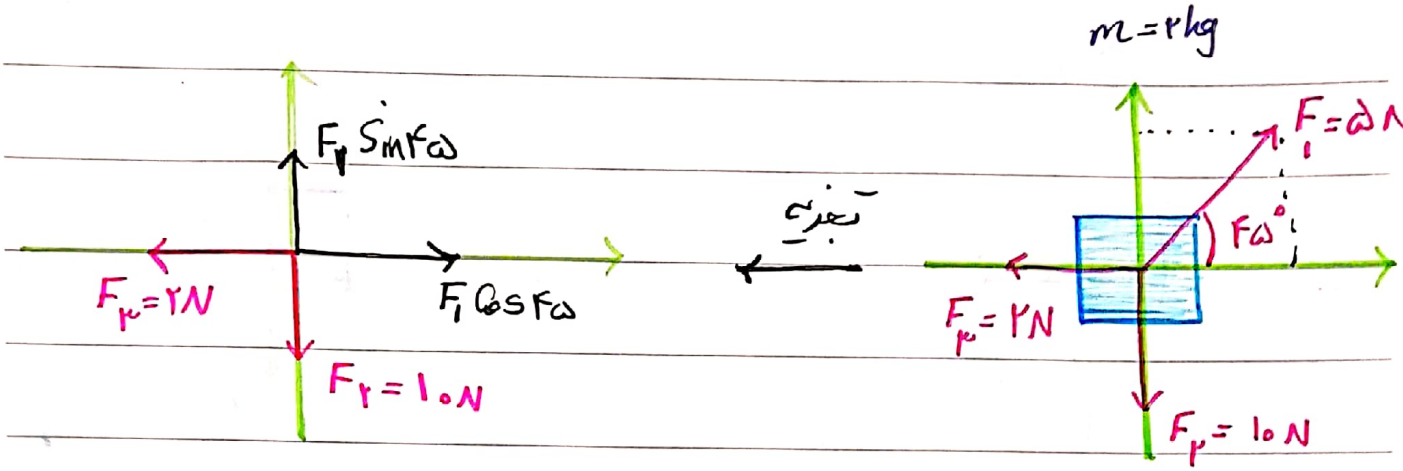
$$\sum F_x = ma_x$$
$$F_1 - F_4 = ma_x$$
$$10 - 4 = 2a_x$$
$$2 = 2a_x$$
$$a_x = (+1)\hat{i}$$

در راستای $y$:

$$\sum F_y = m(a_y)$$
$$F_2 + F_3 - F_4 = ma_y$$
$$8 + 12 - 12 = 2a_y$$
$$8 = 2a_y$$
$$a_y = \left(+\frac{8}{2}\right)\hat{j}$$

$$\vec{F}_{net} = (2\hat{i} + 8\hat{j})\,N \qquad |F_{net}| = \sqrt{(2)^2 + (8)^2} = \checkmark\ N$$

$$\vec{a} = \left(1\,\hat{i} + \frac{8}{2}\hat{j}\right)\,m/s^2 \qquad |a| = \sqrt{(1)^2 + \left(\frac{8}{2}\right)^2} = \checkmark\ m/s^2$$




راستای x

$$\sum F_x = ma_x$$

$$F_1\cos 45 - F_\mu = ma_x$$

$$5\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right) - 2 = 2a_x$$

$$3{,}54 - 2 = 2a_x$$

$$1{,}54 = 2a_x$$

$$a_x = 0{,}77\ \hat{i}$$

راستای y

$$\sum F_y = ma_y$$

$$F_1\sin 45 - F_y = ma_y$$

$$5\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right) - 10 = 2a_y$$

$$3{,}54 - 10 = 2a_y$$

$$-6{,}46 = 2a_y$$

$$a_y = -3{,}23\ \hat{j}$$

$$\vec{F}_{net} = 1{,}54\,\hat{i} - 6{,}46\,\hat{j}$$

$$|\vec{F}_{net}| = \sqrt{(1{,}54)^2 + (-6{,}46)^2} = \checkmark$$

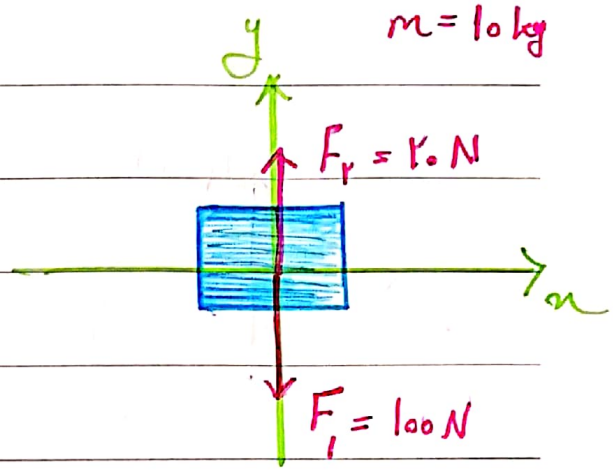
$$\vec{a} = 0{,}77\,\hat{i} - 3{,}23\,\hat{j}$$

$$|\vec{a}| = \sqrt{(0{,}77)^2 + (-3{,}23)^2} = \checkmark$$

واحد شتاب $\rightarrow \left(\frac{N}{kg}\right) \text{ یا } \left(\frac{m}{s^2}\right)$

واحد نیرو $\rightarrow$ N (نیوتون)

/ /




راستای x:
$$\begin{cases} \sum F_x = ma_x \\ 0 = ma_x \\ a_x = 0 \end{cases}$$

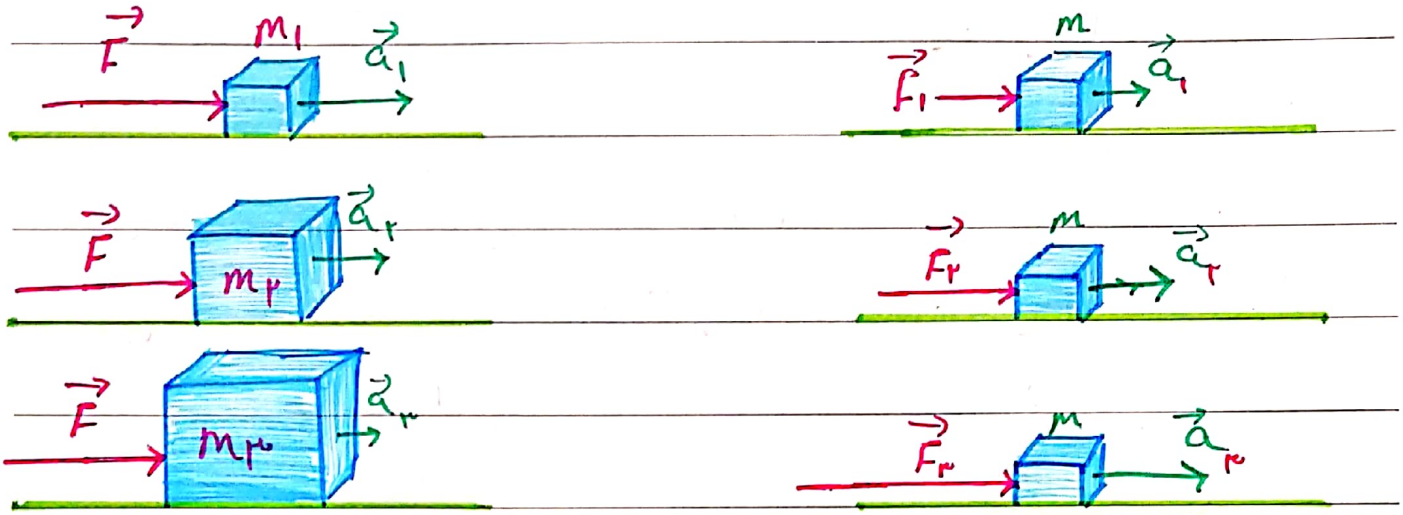
راستای y:
$$\begin{cases} \sum F_y = ma_y \\ F_2 - F_1 = ma_y \\ 20 - 100 = 10\,a_y \\ \therefore -80 = 10\,a_y \\ a_y = (-8)\hat{j}\ m/s^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_{net} = 0\,\hat{i} - 80\,\hat{j} \\ \vec{a} = 0\,\hat{i} - 8\,\hat{j} \end{cases}$$

$$|F_{net}| = \sqrt{(0)^2 + (-80)^2} = \sqrt{\quad}\ N$$

$$|a| = \sqrt{(0)^2 + (-8)^2} = \sqrt{\quad}\ \frac{m}{s^2}$$

پرسش ۴-۲ کتاب درسی: در شکل های زیر قطعه های یخ روی سطح بدون اصطکاک قرار دارند. تفسیر خود از این شکل ها را بیان کنید.




در سه شکل سمت راست: اندازه جرم ثابت است

نیرو افزایش یافته است.

طبق رابطه $\Sigma F = ma$ چون نیرو با شتاب رابطه مستقیم دارد، شتاب نیز افزایش یافته است.

در سه شکل سمت چپ: اندازه نیرو ثابت است

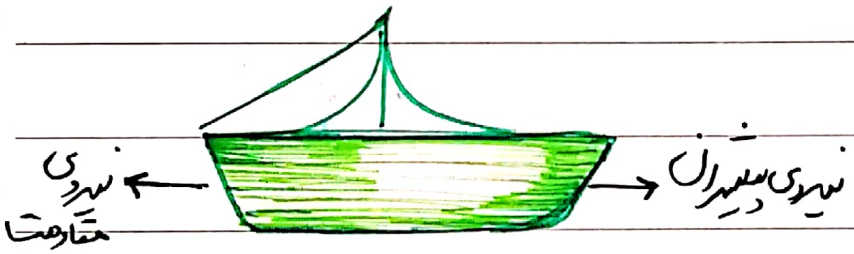
جرم جسم افزایش یافته است.

طبق رابطه $\Sigma F = ma$ جرم با شتاب رابطه عکس دارد. در نتیجه با افزایش جرم شتاب کاهش یافته است

**مثال ۲-۱ کتاب درسی:** نیروی موتور یک قایق موتوری که جرم آن با سرنشینش ۴۰۰ kg است به گونه‌ای تنظیم می‌شود که در بازهٔ زمانی معین همواره نیروی افقی خالص ۸۰۰ N به طرف جلو بر قایق وارد شود.

الف) شتاب این قایق چقدر و در چه جهتی است؟

ب) اگر نیروی پیشران در این لحظه ۱۳۰۰ N باشد نیروی مقاومت در آن لحظه چقدر است؟




در راستای y نیرویی نداریم.

$$\vec{a} = +2\hat{i} + 0\hat{j}$$

$$|a| = \sqrt{(2)^2 + (0)^2} = 2\ m/s^2$$

الف) راستای x:

$$F_{net} = ma_x$$

$$+800 = 400\, a_x$$

$$a_x = +2\hat{i}$$

راستای y

$$F_{net} = 0\ \hat{j}$$

$$a_y = 0\ \hat{j}$$

ب) راستای x:

$$F_{net} = ma_x$$

$$\text{نیروی پیشران} - \text{نیروی مقاومت} = ma_x$$

$$1300 - \text{نیروی مقاومت} = 400\,(2\hat{i})$$

$$\text{نیروی مقاومت} = 500\ N$$

/ /

پ) چقدر طول می‌کشد تا سرعت قایق از حالت سکون به $15\ \frac{m}{s}$ برسد؟ در این مدت قایق چقدر جابه‌جا شده است؟

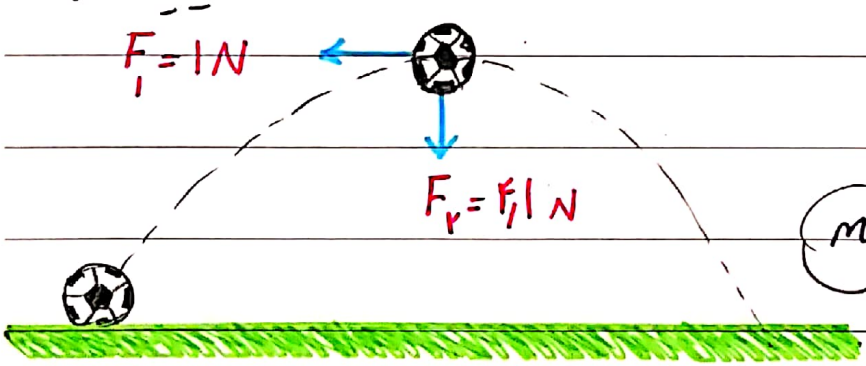
از حالت سکون

برای محاسبه‌ی زمان: $v_2 = at + v_1^{\nearrow} \longrightarrow 15 = 2t \longrightarrow t = 7,5\ s$

برای محاسبه‌ی $\Delta x$: $v_2^2 - v_1^{2\nearrow 0} = 2a\,\Delta x \longrightarrow (15)^2 = 2(2)\Delta x \longrightarrow \Delta x = 56,3\ m$

---

مثال ۲-۲ کتاب درسی شکل روبه‌رو نیروهای وارد بر توپ فوتبالی به جرم ۴۲۰ g را در بالاترین نقطه‌ی مسیرش نشان می‌دهد که در آن $F_1$ نیروی مقاومت هوا و $F_2$ وزن توپ است. جهت و بزرگی شتاب توپ در این نقطه را تعیین کنید. از سایر نیروها صرف نظر کنید.




تبدیل گرم به کیلوگرم:

$m = 420\ gr \longrightarrow 0,42\ kg$

(۰) - (۳)

راستای x:

$F_{net} = ma_x$

$-F_1 = ma_x$

$-1 = 0,42\,a_x$

$a_x = -2,38\ \hat{i}$

راستای y:

$F_{net} = ma_y$

$-F_2 = ma_y$

$-4,1 = 0,42\,a_y$

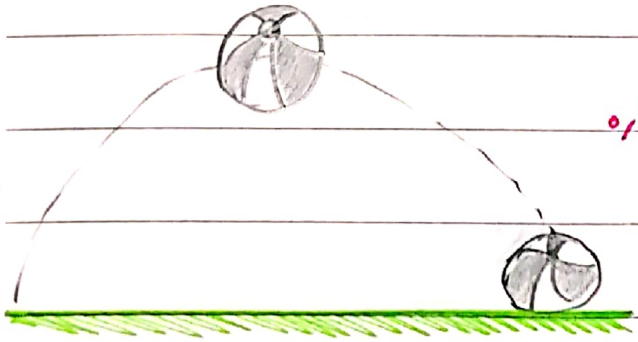
$a_y = -9,76\ \hat{j}$

$\vec{a} = (-2,38)\hat{i} + (-9,76)\hat{j}$

$|a| = \sqrt{(-2,38)^2 + (-9,76)^2} = 10\ m/s^2$

/ /

**تمرین:** شکل زیر توپی را در لحظه‌ای نشان می‌دهد که در بالاترین نقطه‌ٔ مسیرش قرار دارد. در این لحظه جهت حرکت توپ نشان داده شده است. اگر اندازه‌ٔ نیروی مقاومت هوا $0.5N$ و جرم توپ $120g$ باشد: $(g = 10 m/s^2)$



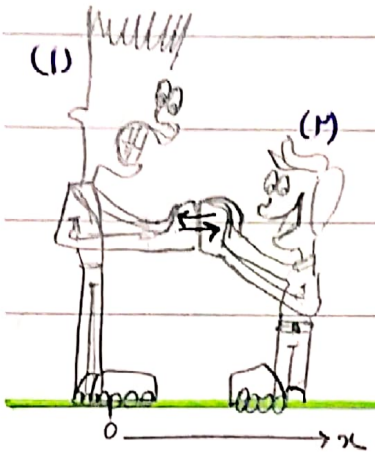
الف) جهت نیروهای وارد بر توپ را رسم کنید. ۰/۵

ب) بزرگی شتاب را تعیین کنید. ۱/۲۵

ج) جهت بردار شتاب را تعیین کنید. ۰/۵

نیروی وزن از آرایه‌ٔ بردار است $W = mg$ ← وزن

مثال ۲-۳ کتاب درسی: دو شخص به جرم‌های ۷۵kg و ۵۰kg با کفش‌های چرخ‌دار در یک سالن مسطح و صاف روبه‌روی هم ایستاده‌اند. شخص اول با نیروی ۱۰۰N شخص دوم را به طرف راست هل می‌دهد.




الف) شتاب که شخص دوم می‌گیرد چقدر است؟

ب) شتاب که شخص اول می‌گیرد چقدر است؟

مطابق قانون سوم نیوتون نیروی که شخص (۱) به (۲) وارد می‌کند هم اندازه و در خلاف جهت نیروی است که شخص (۲) به (۱) وارد می‌کند. بنابراین داریم:

$$\begin{cases} m_1 = 75kg \\ m_2 = 50kg \\ F = 100N \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_{12} = 100N \\ F_{21} = -100N \end{cases}$$

شتابی که شخص (۲) می‌گیرد

$$F = ma \longrightarrow a_2 = \frac{F_{12}}{m_2} = \frac{100}{50} = +2\hat{i} \ (m/s^2)$$

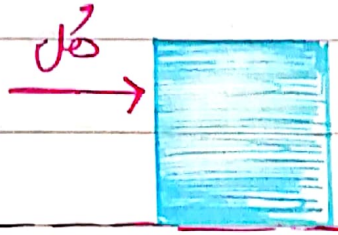
$$F = ma \longrightarrow a_1 = \frac{F_{12}}{m_1} = \frac{-100}{75} = -1.33\hat{j} \ (m/s^2)$$

شتابی که شخص ۱ می‌گیرد

توجه: F‌ها هم اندازه بودن (ولی در خلاف جهت هم)

اما a ها متفاوت بودند به دلیل جرم‌های متفاوت.

پرسش ۲ از کتاب: شخصی در حال هل دادن جعبه‌ای سنگین روی سطح افقی است و این جعبه در جهت این نیرو حرکت می‌کند. با توجه به آنکه نیروی که شخص به جعبه وارد می‌کند با نیروی که جعبه به شخص وارد می‌کند هم اندازه است توضیح دهید چگونه جعبه حرکت می‌کند؟!




← طبق قانون ۳ نیوتون شخص به جعبه نیرو وارد می‌کند، جعبه نیز همین نیرو هم اندازه ولی در خلاف جهت به شخص وارد می‌کند.

← چون جرم جعبه از جرم شخص کمتر است ← نیرو برای حرکت دادن جعبه مناسب و کافی است اما برای حرکت دادن شخص کافی نیست.
به همین دلیل فقط جعبه حرکت می‌کند.

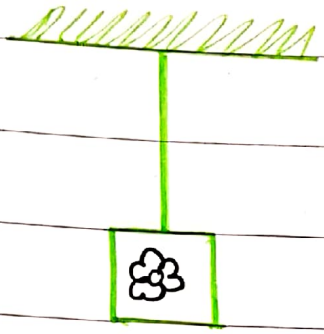
تمرین: درستی یا نادرستی عبارت‌های زیر را مشخص کنید.

۱) نیروهای کنش و واکنش از یک نوع هستند. ← درست

۲) نیروهای کنش و واکنش اثرات یکسانی ایجاد می‌کنند. ← غلط
نیروهای کنش و واکنش یکسان هستند اما اثرات آن‌ها به جرم جسم‌ها وابسته است.

۳) نیروهای کنش و واکنش ممکن است اثرات یکسانی ایجاد کنند. ← درست
در صورتیکه جرم‌ها برابر باشند.

تمرین: گلدانی در داخل سبد قرار دارد و به وسیله یک ریسمان از سقف آویزان است. عکس العمل نیروی وزن گلدان به کجا وارد می‌شود؟



نیروی وزن ← نیرویی است که کرهٔ زمین به گلدان وارد کرده است.

بنابراین عکس العمل آن از طرف گلدان به مرکز کرهٔ زمین خواهد بود.

زمین

اگر می گفت عکس العمل نیروی کشش قناب به کجا وارد می شود می گفتیم: نیروی کشش قناب از ریسمان به گلدان وارد می شود بنابراین عکس العمل آن از گلدان به ریسمان خواهد بود.

/ /

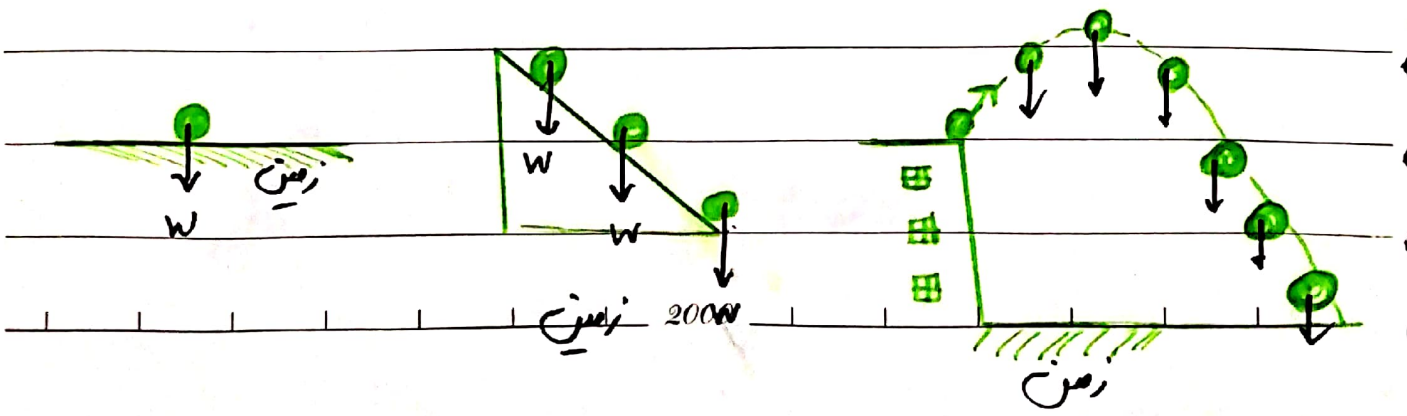
## معرفی برخی از نیروهای خاص

① وزن W
② نیروی مقاومت شاره $f_D$
③ نیروی کشش نخ T
④ نیروی کشسانی $F_e$
⑤ نیروی عمودی سطح $F_N$
⑥ نیروی اصطکاک $f_s$ ، $f_k$
⑦ نیروی سطح R

① نیروی وزن (W) ← نیروی گرانشی است که زمین به جسم وارد می کند.
جهت آن همیشه به سمت زمین است.
اما (جرم جسم در مکان های مختلف همواره ثابت است
وزن جسم در مکان های مختلف می تواند تغییر کند.

$W = mg$
- W: نیروی وزن (N)
- m: جرم جسم (kg)
- g: شتاب گرانش $\left(\frac{m}{s^2}\right)$ یا $\left(\frac{N}{kg}\right)$

تمرین: در شکل های زیر جهت نیروی وزن را نمایش دهید.



/ /

**تمرین ۲ـ آنالیز بررسی:** وزن قطعه‌ای فلزی به جرم ۱۰۰ گرم را روی سطح زمین، سطح ماه و سطح مریخ بدست آورید.

$g_{\text{زمین}} = 9,8 \ \frac{N}{kg}$

$g_{\text{ماه}} = 1,6 \ \frac{N}{kg}$

$g_{\text{مریخ}} = 3,7 \ \frac{N}{kg}$

حل: ابتدا گرم را به کیلوگرم تبدیل می‌کنیم.

$100\,g \longrightarrow 100 \times 10^{-3}\,kg$

$(-3) - (0) = (-3)$

$1\,kg \rightleftharpoons 1000\,g$

وزن قطعه در زمین $W = mg = 0,1 \times 9,8 = 0,98 \ N$

وزن قطعه در ماه $W = mg = 0,1 \times 1,6 = 0,16 \ N$

وزن قطعه در مریخ $W = mg = 0,1 \times 3,7 = 0,37 \ N$

**تمرین:** عکس‌العمل نیروی وزن به چه جسمی وارد می‌شود؟

نیروی وزن نیرویی است که از زمین به جسم وارد می‌شود. بنابراین عکس‌العمل آن نیرویی است که از جسم به مرکز زمین وارد می‌شود.

سیال یا شاره ← (گاز یا مایع)

/ /

② نیروی مقاومت شاره ($f_D$): ← زمانی این نیرو را داریم که جسم درون سیال حرکت کند.
یا جسم ساکن باشد و سیال حرکت کند.

$f_D$ نیرویی است که از شاره به جسم وارد می‌شود.

اگر شاره هوا باشد به نیروی $f_D$، نیروی مقاومت هوا می‌گویند.

نیاز به حفظ نیست

$$f_D = \frac{1}{2} C \rho A v^2$$