فهرست

فصل	پرسش‌های چهارگزینه‌ای	درسنامه و پاسخ
فصل ۱ : حرکت‌شناسی	۷	۸۷
بخش (۱) مفاهیم اولیهٔ حرکت‌شناسی	۸	۸۸
بخش (۲) نمونه‌هایی از حرکت راست‌خط (یکنواخت و شتاب ثابت)	۲۱	۱۲۷
بخش (۳) سقوط آزاد (مطالعهٔ نیمه‌آزاد)	۳۷	۱۶۸
فصل ۲ : دینامیک	٤۷	۱۹٤
بخش (۱) قانون‌های نیوتون در دینامیک	٤۸	۱۹۵
بخش (۲) نیروهای آشنا	۵٤	۲۰۹
بخش (۳) تکانه	۷۳	۲٦٤
بخش (٤) قانون گرانش عمومی	۷۷	۲۷۵

بخش ۱: قانون‌های نیوتون در دینامیک

علم دینامیک و تفاوت آن با حرکت‌شناسی

(درس ۱)

فصل، فصل نیروها است، پس با دسته‌بندی نیروها شروع می‌کنیم.

۳۹۹- برای ایجاد کدام‌یک از کمیت‌های زیر دست‌کم دو جسم نیاز است؟

۱) اختلاف پتانسیل الکتریکی ۲) میدان الکتریکی ۳) نیروی الکتریکی ۴) گزینه‌های ۱ و ۳ درست‌اند.

۴۰۰- در کدام دسته از نیروهای زیر، هیچ‌کدام از نیروها تماسی نیستند؟

۱) وزن، اصطکاک، کشسانی فنر ۲) گرانشی، مغناطیسی، الکتریکی ۳) اصطکاک، کشسانی فنر، عمودی تکیه‌گاه ۴) الکتریکی، شناوری، مغناطیسی

قانون‌های نیوتون دربارهٔ حرکت اجسام

(درس ۲)

در بحث دینامیک باید یاد بگیرید که چه وقت از چه قانونی استفاده کنید. پس لطفاً مفاهیم اولیه که ظاهر ساده‌اند را جدی بگیرید.

۴۰۱- کدام‌یک از حالت‌های زیر، با قانون اول نیوتون توجیه نمی‌شود؟

۱) جعبه‌ای که روی سطح شیبدار در آستانهٔ حرکت است.
۲) حرکت فضاپیمایی که از اجرام آسمانی دور است و موتور آن خاموش است.
۳) جسمی که از حالت سکون شروع به حرکت کرده است.
۴) چتربازی که با سرعت ثابت سقوط می‌کند.

۴۰۲- در چند مورد از موارد زیر، نیروهای وارد بر جسم متوازن نیستند؟

الف) اتومبیلی که در حال متوقف‌شدن است.
ب) لامپی که از سقف آویزان است.
پ) هواپیمایی که در ارتفاع ۵۰۰۰ متری زمین با تندی ثابت در حال دورزدن است.
ت) تکه چوبی که روی آب شناور است و حرکت نمی‌کند.
ث) جسمی که در شرایط خلأ در حال سقوط آزاد است.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

لختی یک مفهوم کلیدی است که در تست‌های بعدی به آن می‌پردازیم.

۴۰۳- کدام عبارت نادرست است؟

۱) نیروی وارد بر گلوله‌ای که به طرف بالا پرتاب شده و در نقطهٔ اوج خود است، صفر است.
۲) جسمی که روی سطح شیبدار با سرعت ثابت حرکت می‌کند، از قانون اول نیوتون پیروی می‌کند.
۳) هنگام ترمز اتوبوس، سرنشینان به سمت جلو پرتاب می‌شوند.
۴) اگر نیروی خالص وارد بر جسم متحرکی صفر باشد، جسم با سرعت ثابت حرکت می‌کند.

۴۰۴- کدام گزینه دربارهٔ لختی نادرست است؟

۱) هر چه لختی یک جسم که با سرعت ثابت در حال حرکت است، بیشتر باشد، متوقف‌کردن آن مشکل‌تر است.
۲) لختی نیرویی است که اجسام را در حالت تعادل نگه می‌دارد.
۳) هر چه لختی یک جسم ساکن کم‌تر باشد، به حرکت درآوردن آن راحت‌تر است.
۴) لختی برای اجسام شتاب‌دار هم وجود دارد.

۴۰۵- دلیل اصلی چند مورد از رخدادهای زیر، وجود خاصیت لختی است؟

«حرکت مستقیم و یکنواخت کاوشگر «ویجر یک» در فضای بین ستاره‌ای ـ حرکت زمین به دور خورشید ـ سفت‌شدن سر چکش وقتی ته دستهٔ آن را به زمین می‌زنیم ـ پایین‌آمدن گلوله از سطح شیبدار ـ جابه‌جایی مهره‌های گردن شخصی که در یک اتومبیل در حال سکون است و از عقب، اتومبیلی به آن می‌کوبد.»

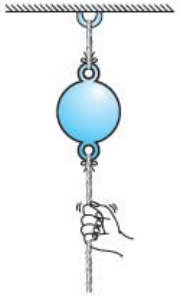
۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

۴۰۶- در مورد دو شکل روبه‌رو که مربوط به بررسی لختی است، کدام عبارت‌ها درست هستند؟ *(برگرفته از پرسش کتاب درسی)*

الف) در شکل (۱) اگر خیلی سریع کاغذ را بکشیم، سکه داخل لیوان می‌افتد.
ب) شکل (۱) بیانگر این است که اجسام تمایل به حفظ وضعیت اولیهٔ خود دارند.
پ) در شکل (۲) اگر به آرامی نیروی وارد بر نخ را افزایش دهیم، نخ بالایی پاره می‌شود.
ت) در شکل (۲) اگر نیروی وارد بر نخ را به هر شکل ممکن (به آرامی یا به طور ناگهانی) افزایش دهیم، نخ پایینی پاره می‌شود.

۱) الف، ب و پ ۲) فقط الف و پ
۳) فقط ب و ت ۴) الف، ب و ت

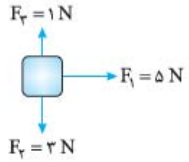
شکل (۱)



شکل (۲)

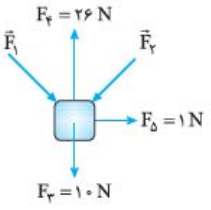
به نظر شما آیا یک جسم در حال حرکت می‌تواند متوازن باشد؟ چرا که نه! ولی یک شرط دارد. لطفاً تست‌های زیر را پاسخ بدهید.

۴۰۷- به جسم در حال حرکت شکل روبه‌رو، چه نیرویی برحسب نیوتون وارد کنیم که جسم با سرعت ثابت روی خط راست حرکت کند؟



۱) $۵\vec{i}+۲\vec{j}$
۲) $-۵\vec{i}+۴\vec{j}$
۳) $۵\vec{i}-۴\vec{j}$
۴) $-۵\vec{i}+۲\vec{j}$

۴۰۸- اگر جسم در شکل روبه‌رو در حال تعادل باشد، $\vec{F}_۱+\vec{F}_۲$ برحسب نیوتون کدام است؟



۱) $-۱\vec{i}-۱۶\vec{j}$
۲) $-۱\vec{i}+۳۶\vec{j}$
۳) $۱\vec{i}+۱۶\vec{j}$
۴) $۱\vec{i}+۳۶\vec{j}$

۴۰۹- فقط دو نیروی $\vec{F}_۱=۲\vec{i}-۶\vec{j}$ و $\vec{F}_۲$ بر ذره‌ای وارد می‌شوند و این ذره با سرعت ثابت $\vec{v}=۳\vec{i}+۴\vec{j}$ حرکت می‌کند. در این حالت نیروی $\vec{F}_۲$ کدام است؟ (یکاها در SI است.) *(سراسری ریاضی ۸۸ خارج از کشور)*

۱) $\vec{i}+۲\vec{j}$
۲) $-\vec{i}-۲\vec{j}$
۳) $۲\vec{i}-۶\vec{j}$
۴) $-۲\vec{i}+۶\vec{j}$

درس ۳ قانون دوم نیوتون

اگر بگوییم قانون دوم نیوتون قلب دینامیک است، بی‌راه نگفته‌ایم.

۴۱۰- نیوتون (یکای نیرو در SI) معادل کدام واحد زیر است؟ *(مشابه پرسش کتاب درسی)*

۱) $\frac{kg}{m.s^۲}$
۲) $\frac{kg.m}{s^۲}$
۳) $\frac{s^۲}{kg.m}$
۴) $\frac{m.s^۲}{kg}$

دو تست مفهومی زیر را ببینید.

۴۱۱- نیروی خالص ثابت وارد بر یک جسم که بر مسیر مستقیم حرکت می‌کند، با کدام‌یک از کمیت‌های زیر الزاماً هم‌جهت است؟

۱) تغییرات شتاب
۲) جابه‌جایی
۳) تغییرات سرعت
۴) بردار مکان

۴۱۲- چند مورد از رخدادهای زیر، با قانون اول نیوتون توجیه نمی‌شود ولی با قانون دوم نیوتون توجیه می‌شود؟

الف) کندشدن توپ بولینگ هنگام غلتیدن روی یک سطح
ب) پرتاب توپ بسکتبال به درون سبد
پ) شروع به حرکت‌کردن جسم روی میز بدون اصطکاک
ت) آویزان‌ماندن یک میمون از درخت

۱) ۱
۲) ۲
۳) ۳
۴) ۴

از حالا مدادتان را بردارید چون قرار است محاسبه کنید.

۴۱۳- جسمی به جرم ۱۰ kg روی سطح افقی با نیروی افقی ۵۰ N به طور یکنواخت (با تندی ثابت) حرکت می‌کند. اگر به جای نیروی ۵۰ نیوتونی، به این جسم نیروی افقی ۶۰ نیوتونی وارد کنیم، شتاب حرکت آن چند متر بر مجذور ثانیه می‌شود؟ *(ق.م)*

۱) ۱۰
۲) ۶
۳) ۵
۴) ۱

۴۱۴- نیروی $\vec{F}$ بر جسمی به جرم ۴ kg اثر می‌کند و به آن شتاب $\vec{a}=۲\vec{i}+۱/۵\vec{j}$ برحسب متر بر مجذور ثانیه می‌دهد. اندازهٔ نیروی $\vec{F}$ چند نیوتون است؟ *(ق.م)*

۱) ۷
۲) ۱۰
۳) ۱۴
۴) ۲۴

۴۱۵- نیروی ۲۰ N به جسمی، شتاب a و نیروی ۲۸ N به آن شتاب $(۲+a)$ می‌دهد. a چند متر بر مجذور ثانیه است؟ *(ق.م)*

۱) ۲
۲) ۴
۳) ۵
۴) ۷

۴۱۶- در یک سطح افقی بدون اصطکاک، نیرویی بر وزنهٔ $m_۱$ شتاب a می‌دهد. اگر وزنهٔ $m_۲$ را به $m_۱$ وصل کنیم، همان نیرو بر دستگاه شتاب $\frac{۲}{۳}a$ خواهد داد. نسبت $\frac{m_۱}{m_۲}$ کدام است؟ *(ق.م)*

۱) $\frac{۱}{۲}$
۲) $\frac{۱۳}{۲}$
۳) ۲
۴) ۳

۴۱۷- نیروی $\vec{F}$ به جسمی به جرم $m_۱$ شتاب $\vec{a}$ و نیروی $\frac{۴}{۳}\vec{F}$ به جسم دیگری به جرم $m_۲$ شتاب $\frac{۴}{۵}\vec{a}$ را می‌دهد. جرم $m_۱$ چند برابر جرم $m_۲$ است؟

۱) $\frac{۳}{۵}$
۲) $\frac{۵}{۳}$
۳) $\frac{۱۵}{۱۶}$
۴) $\frac{۱۶}{۱۵}$

۴۱۸- وقتی نیروی $\vec{F}$ برحسب نیوتون به جسمی به جرم m وارد شود، شتاب آن $\vec{a}$ می‌شود. اگر اندازهٔ نیرو را ۳۰ N کاهش دهیم، شتاب به اندازهٔ $۶\,m/s^۲$ کم می‌شود. m چند کیلوگرم است؟

۱) ۳۰
۲) ۱۰
۳) ۶
۴) ۵

۴۱۹- جرم m_1 تحت تأثیر نیروی $\vec{F}$، شتابی به اندازهٔ $3\ m/s^2$ می‌گیرد. اگر نیروی $\frac{5}{3}\vec{F}$ به جرم m_2 شتاب $10\ m/s^2$ بدهد، شتاب حاصل از نیروی $2\vec{F}$ وارد بر جسمی به جرم $m_1 - m_2$ چند متر بر مجذور ثانیه است؟

۱) ۴ ۲) ۶ ۳) ۸ ۴) ۱۲

۴۲۰- یک لوکوموتیو به جرم $10^4\ kg$ یک قطار باری به جرم $5\times10^4\ kg$ را با شتاب $1/5\ m/s^2$ به حرکت درمی‌آورد (اصطکاک با ریل‌ها ناچیز است). اگر $3\times10^4\ kg$ از بار قطار تخلیه شود، با همان نیروی محرک، شتاب چند متر بر مجذور ثانیه خواهد شد؟ (ق.م)

۱) ۲/۵ ۲) ۳ ۳) ۴/۵ ۴) ۷/۵

۴۲۱- نیرویی به معادلهٔ $\vec{F} = 3t^2\vec{i} + 8t\vec{j}$ برحسب نیوتون در $t = 2\ s$ به یک جسم شتابی به اندازهٔ $2/5\ m/s^2$ می‌دهد. جرم جسم چند کیلوگرم است؟

۱) ۸ ۲) ۴ ۳) ۲ ۴) ۱

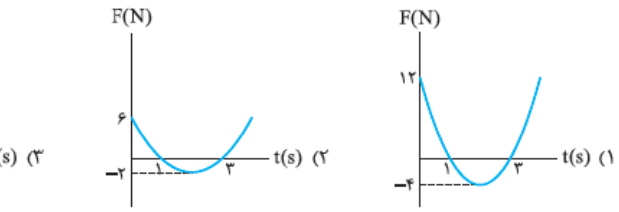
شتاب چون یکی از مهم‌ترین پل‌های ارتباطی بین فصل حرکت‌شناسی و دینامیک است، هواستان به شتاب باشد.

۴۲۲- معادلهٔ شتاب ـ زمان متحرکی که روی خط راست حرکت می‌کند، به صورت $a = t^2 - 3t - 4$ است. در چه لحظه‌ای برحسب ثانیه پس از $t = 0$ نیروهای وارد بر متحرک متوازن می‌شوند؟

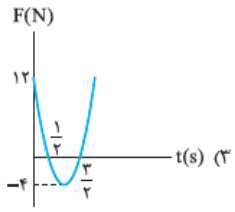
۱) ۱ ۲) ۳

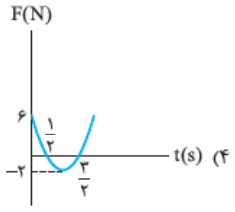
۳) ۴ ۴) چون معادلهٔ شتاب درجه۲ است، هیچ‌گاه این اتفاق نمی‌افتد.

۴۲۳- معادلهٔ شتاب ـ زمان جسمی به جرم $0/5\ kg$ که روی محور xها حرکت می‌کند، برحسب متر بر مجذور ثانیه به صورت $a = 4t^2 - 16t + 12$ است. اگر جهت مثبت محور x را جهت مثبت فرض کنیم، نمودار نیروی خالص وارد بر جسم برحسب زمان در SI کدام است؟

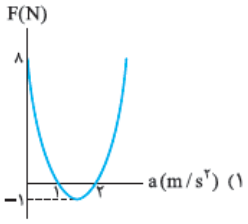
۱) 

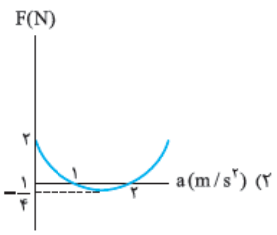
۲)

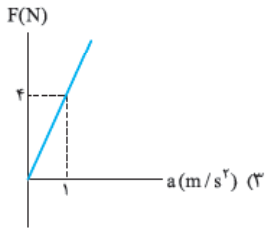
۳) 

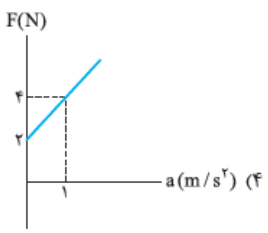
۴) 

۴۲۴- معادلهٔ شتاب جسمی به صورت $a = t^2 - 3t + 2$ است. اگر جرم جسم $4\ kg$ باشد، نمودار نیروی خالص واردشده بر جسم برحسب شتاب کدام است؟

۱) 

۲) 

۳) 

۴) 

۴۲۵- معادلهٔ سرعت ـ زمان جسمی که در مسیر مستقیم حرکت می‌کند، برحسب متر بر ثانیه به صورت $v = 3t^2 - 12t + 8$ و معادلهٔ شتاب آن برحسب متر بر مربع ثانیه به صورت $a = 6t - 12$ است. در لحظه‌ای که جهت برایند نیروهای وارد بر جسم عوض می‌شود، بزرگی سرعت جسم چند متر بر ثانیه است؟ (سراسری ریاضی ۹۴ خارج از کشور ـ با کمی تغییر)

۱) ۳ ۲) ۴

۳) ۸ ۴) ۹

گاهی چند نیرو به یک جسم وارد می‌شوند که ما باید بلد باشیم برایند آن‌ها را حساب کنیم و گاهی هم برایند آن‌ها را داریم و باید خود نیروها را کشف کنیم.

۴۲۶- جسمی به جرم $26\ kg$ روی سطح افقی بدون اصطکاکی تحت اثر دو نیروی متقاطع عمود بر هم که اندازهٔ یکی از آن‌ها $12\ N$ است، قرار دارد. اگر شتاب جسم $0/5\ m/s^2$ باشد، اندازهٔ نیروی دیگر چند نیوتون است؟ (ق.م)

۱) ۱ ۲) ۳ ۳) ۴ ۴) ۵

۴۲۷- دو نیروی $\vec{F}_1 = 2\vec{i} - 5\vec{j}$ و $\vec{F}_2$ به جسم $1/5$ کیلوگرمی اثر می‌کنند و معادلهٔ شتاب حاصل در SI، به صورت $\vec{a} = 2\vec{i} - 4\vec{j}$ می‌شود. $\vec{F}_2$ کدام است؟ (سراسری تجربی ۸۶)

۱) $\vec{i} + \vec{j}$ ۲) $\vec{i} - \vec{j}$ ۳) $5\vec{i} - \vec{j}$ ۴) $5\vec{i} + \vec{j}$

۴۲۸- فرض کنید بر جسمی به جرم $0/5\ kg$ دو نیروی $\vec{F}_1 = 3\vec{i} - 4\vec{j}$ و $\vec{F}_2 = -2\vec{F}_1$ برحسب نیوتون اثر می‌کند. بزرگی شتاب حرکت این جسم چند متر بر مجذور ثانیه است؟ (سراسری ریاضی ۸۲)

۱) ۱ ۲) ۵ ۳) ۱۰ ۴) ۱۵

۴۲۹- سه نیرو، هم‌زمان بر وزنه‌ای به جرم $5\ kg$ اثر می‌کنند. اگر بردار نیروها برحسب نیوتون به صورت $\vec{F}_1 = 20\vec{i} - 50\vec{j}$، $\vec{F}_2 = 10\vec{i} + 20\vec{j}$ و $\vec{F}_3 = -10\vec{j}$ باشد، بزرگی شتاب حاصل از این نیروها چند متر بر مربع ثانیه خواهد شد؟ (سراسری ریاضی ۹۳ خارج از کشور)

۱) ۵ ۲) $5\sqrt{2}$ ۳) ۱۰ ۴) $10\sqrt{2}$

۴۳۰- جسمی به جرم $5\ kg$ تحت تأثیر سه نیروی $\vec{F}_1 = -15\vec{i} + 8\vec{j}$، $\vec{F}_2 = -21\vec{i} + 19\vec{j}$ و $\vec{F}_3$ قرار گرفته و شتاب $\vec{a} = -4\vec{i} + 3\vec{j}$ را پیدا کرده است. اندازهٔ نیروی $\vec{F}_3$ کدام است؟ (همهٔ اندازه‌ها در SI است.) (سراسری ریاضی ۸۹)

۱) ۴ ۲) ۲۰ ۳) ۲۸ ۴) ۴۸

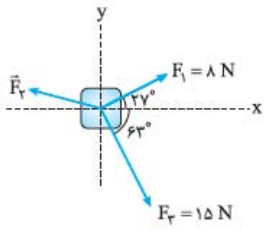
۴۳۱- اگر دو نیروی $\vec{F}_1 = ۶\vec{i} + \alpha\vec{j}$ و $\vec{F}_2 = ۲\vec{i} - ۲\vec{j}$ به جسمی به جرم $۲/۵\ kg$ شتاب $۴\ m/s^۲$ بدهند. α برابر کدام می‌تواند باشد؟

۱) -۸ ۲) -۴ ۳) ۴ ۴) ۶

۴۳۲- سه نیروی ۸، ۶ و ۱۲ نیوتونی با هم به جسمی به جرم $۴\ kg$ اعمال شده و جسم ساکن است. هرگاه نیروی ۶ نیوتونی حذف شود، جسم با چه شتابی برحسب متر بر مجذور ثانیه حرکت می‌کند؟ (سراسری ریاضی ۸۴)

۱) ۱ ۲) ۱/۵ ۳) ۲/۵ ۴) ۵

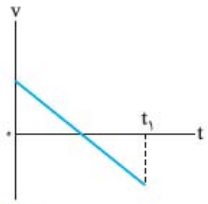
۴۳۳- در شکل روبه‌رو جسم ۳۴ کیلوگرمی در حال تعادل است. اگر نیروی $\vec{F}_2$ حذف شود، شتاب جسم چند متر بر مربع ثانیه می‌شود؟



۱) $\frac{۱}{۲}$ ۲) $\frac{۸}{۱۵}$ ۳) $\frac{۲۳}{۳۴}$ ۴) باید اندازهٔ $\vec{F}_2$ مشخص باشد.

در تست‌های بعدی حرکت‌شناسی و دینامیک با هم هم‌دست شده‌اند. پل ارتباطی بین این دو مبحث را که یادتان هست!

۴۳۴- اگر نمودار سرعت ـ زمان جسمی در مدت زمان t_1 به صورت زیر باشد، برایند نیروهای وارد بر آن در همین مدت:



۱) ابتدا کاهش، سپس افزایش یافته است. ۲) پیوسته افزایش یافته است. (ق.م)

۳) پیوسته مقداری ثابت داشته است. ۴) به صفر رسیده، دوباره افزایش یافته است.

۴۳۵- بر جسم ساکنی به جرم $۵\ kg$ نیروی $۲۰\ N$ وارد می‌شود. سرعت جسم پس از $۳\ s$ چند متر بر ثانیه خواهد شد؟ (ق.م)

۱) ۴ ۲) ۷ ۳) ۹ ۴) ۱۲

۴۳۶- اتومبیلی به جرم ۴ تن با سرعت $۲۰\ m/s$ روی سطح افقی در مسیر مستقیم حرکت می‌کند. این اتومبیل در اثر ترمز با شتاب ثابت در مدت $۴\ s$ متوقف می‌شود. نیروی ترمز چند نیوتون است؟ (سراسری تجربی ۸۱)

۱) ۲۰۰۰۰ ۲) ۱۰۰۰۰ ۳) ۸۰۰۰ ۴) ۴۰۰۰

۴۳۷- در یک روز که باران شدید می‌بارد، یک کامیون با نیروی موتور ثابت در حال حرکت است و آب باران به تدریج در پشت کامیون جمع می‌شود. شتاب و سرعت کامیون به ترتیب چگونه تغییر می‌کند؟ (نیروهای مقاوم را ثابت و کوچک‌تر از نیروی موتور فرض کنید.)

۱) افزایش، افزایش ۲) افزایش، کاهش ۳) کاهش، افزایش ۴) کاهش، کاهش

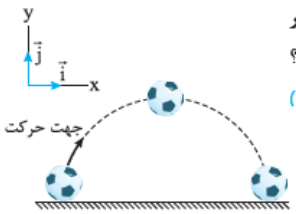
۴۳۸- بر یک قایق موتوری نیروی افقی خالصی به اندازهٔ $۵۰۰۰\ N$ وارد می‌شود و قایق شروع به حرکت می‌کند. اگر جرم قایق و سرنشین مجموعاً $۱۰۰۰\ kg$ باشد، پس از چند ثانیه قایق به اندازهٔ $۱۰\ m$ جابه‌جا می‌شود؟ (مشابه مثال کتاب درسی)

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

۴۳۹- به یک جسم ۲ کیلوگرمی هم‌زمان چهار نیرو به اندازه‌های ۲۰، ۱۵، ۱۰ و ۸ نیوتون وارد می‌شود و جسم به حالت تعادل قرار دارد. اگر فقط نیروی ۱۵ نیوتونی حذف شود و دیگر نیروها با همان اندازه و جهت اثرگذار باشند، تغییر سرعت جسم بعد از ۲ ثانیه چند متر بر ثانیه خواهد شد؟ (سراسری تجربی ۸۵ خارج از کشور)

۱) ۸ ۲) ۱۰ ۳) ۱۵ ۴) ۲۰

۴۴۰- در شکل روبه‌رو توپی به جرم $۱/۲\ kg$ را در بالاترین نقطهٔ مسیرش می‌بینید. در این نقطه نیروی خالص وارد بر جسم $۱۳\ N$ و نیروی مقاومت هوا افقی است. شتاب حاصل از نیروی مقاومت هوا برحسب متر بر مجذور ثانیه کدام است؟ $(g = ۱۰\ m/s^۲)$ (مشابه مثال کتاب درسی)



۱) $-۵\vec{i}$ ۲) $۵\vec{i}$ ۳) $-۴/۱۶\vec{i}$ ۴) $۴/۱۶\vec{i}$

۴۴۱- معادلهٔ مکان ـ زمان متحرکی به جرم $۵\ kg$ به صورت $x = ۵t^۲ + ۴t + ۳$ است. در لحظه‌ای که سرعت $۲۴\ m/s$ است، نیروی وارد بر جسم چند نیوتون است؟ (x برحسب متر و t برحسب ثانیه است.)

۱) ۱۰ ۲) ۵۰ ۳) ۱۲۰ ۴) ۲۴۰

۴۴۲- اتومبیلی به جرم $۱۸۰۰\ kg$ که با سرعت $۳۶\ km/h$ حرکت می‌کند، در اثر نیروهای مقاوم پس از $۲۰\ s$ متوقف می‌شود. اندازهٔ برایند نیروهای وارد بر اتومبیل چند نیوتون است؟

۱) ۵۰۰ ۲) ۱۸۰۰ ۳) ۹۰۰ ۴) ۱۰۰۰

۴۴۳- جسمی به جرم $۴\ kg$ تحت تأثیر نیروی خالص افقی $\vec{F}$ با سرعت ثابت $۲۰\ m/s$ روی سطح زمین در یک خط راست در حال حرکت است. اگر متحرک پس از طی $۲۰\ m$ بایستد، اندازهٔ نیروی $\vec{F}$ چند نیوتون است؟

۱) ۲/۵ ۲) ۱۰ ۳) ۲۵ ۴) ۴۰

۴۴۴- جسمی به جرم ۱۰ kg در $t=0$ از مبدأ مکان روی محور x با سرعت ۱۰ m/s عبور می‌کند. اگر از همین لحظه نیروی ثابتی به آن به اندازهٔ ۵ N در خلاف جهت حرکت متحرک وارد شود، معادلهٔ مکان ـ زمان جسم کدام است؟

۱) $\frac{1}{2}t^2+10t$ ۲) $-\frac{1}{2}t^2+t$ ۳) $-\frac{1}{4}t^2+10t$ ۴) $\frac{1}{4}t^2+t$

۴۴۵- بر جسمی به جرم m_1، نیروی F_1 در مدت t_1 ثانیه و بر جسمی به جرم m_2 نیروی F_2 در مدت t_2 ثانیه وارد می‌شود. اگر هر دو جسم ابتدا ساکن باشند و جابه‌جایی آن‌ها که روی خط راست حرکت می‌کنند، در مدت‌های مذکور با هم برابر باشند، نسبت $\frac{F_1}{F_2}$ برابر است با:

۱) $\frac{m_1t_1}{m_2t_2}$ ۲) $\frac{m_1t_1^2}{m_2t_2^2}$ ۳) $\frac{m_1t_2}{m_2t_1}$ ۴) $\frac{m_1t_2^2}{m_2t_1^2}$

۴۴۶- نیروی افقی $F=50\ N$، جسمی به جرم ۱۰ kg را از حال سکون به حرکت درمی‌آورد. سرعت جسم در مدت ۲ s به ۸ m/s می‌رسد. هم‌زمان با رسیدن سرعت جسم به ۸ m/s نیروی $\vec{F}$ قطع می‌شود. چند ثانیه بعد از قطع نیروی $\vec{F}$، جسم متوقف می‌شود؟

۱) ۸ ۲) ۱۰ ۳) ۱۶ ۴) ۴۰

۴۴۷- وقتی نیروی خالص $\vec{F}$ به جسمی به جرم m وارد می‌شود، از حال سکون روی خط راست شروع به حرکت می‌کند و پس از طی مسیری به طول Δx، سرعتش برابر ۱۰ m/s می‌شود. اگر از m به اندازهٔ ۱/۵ kg کم کنیم، با اعمال همان نیرو از حالت سکون پس از طی مسیری به طول Δx، سرعتش برابر ۲۰ m/s می‌شود. مقدار m چند کیلوگرم است؟

۱) ۰/۵ ۲) ۱ ۳) ۱/۵ ۴) ۲

(درس ۴) قانون سوم نیوتون

تشخیص نیروهای کنش و واکنش کار ساده و در عین حال مهمی است که باید یاد بگیرید. اگر در پاسخ گفتن به هر کدام از تست‌های زیر اشتباه کردید، اشتباهتان را جدی بگیرید.

۴۴۸- نیروهای کنش و واکنش کدام ویژگی زیر را دارند؟

۱) هم‌زمان به یک جسم اثر می‌کنند. ۲) هم‌اندازه و هم‌سو هستند.

۳) هم‌جنس هستند و ماهیت یکسان دارند. ۴) متناسب با جرم اجسام کم یا زیاد می‌شوند.

۴۴۹- چند مورد از عبارت‌های زیر درست است؟

الف) نیروی کنش زودتر از واکنش اثر می‌کند.

ب) برایند نیروهای کنش و واکنش صفر است.

پ) وقتی یک پراید با یک کامیون تصادف می‌کند، نیرویی که از طرف کامیون به پراید وارد می‌شود، بیشتر از نیرویی است که از طرف پراید به کامیون وارد می‌شود.

ت) نیروی کنش و واکنش در خلاف جهت هم هستند.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

۴۵۰- کدام‌یک از جفت نیروهای داده‌شده در زیر، می‌تواند بیانگر قانون سوم نیوتون باشد؟

۱) ۶N ۶N ۲) ۲N ۲N ۳) ۵N ۵N ۴) ۳/۵N ۵N

۴۵۱- لامپی با سیمی از سقف آویزان است. واکنش نیروی وزن از طرف لامپ به ..... وارد می‌شود و جهت آن به سمت ..... است.

۱) سیم ـ بالا ۲) کرهٔ زمین ـ پایین ۳) سیم ـ پایین ۴) کرهٔ زمین ـ بالا

۴۵۲- فرض کنید شما و دوستتان که جرم یکسانی دارید، بر روی اسکیت‌هایی مشابه و بدون اصطکاک با سطح زمین، روبه‌روی هم ایستاده‌اید. اگر او را هل دهید، چه اتفاقی می‌افتد؟ *(برگرفته از مثال کتاب درسی)*

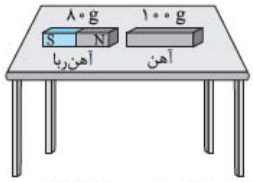
۱) هر دوی شما در جهت نیرویی که به شما وارد شده حرکت خواهید کرد.

۲) دوست شما ثابت می‌ماند اما شما در جهت نیرویی که وارد کرده‌اید، حرکت خواهید کرد.

۳) دوست شما در جهت نیروی واردشده حرکت می‌کند اما شما ثابت می‌مانید.

۴) دوست شما در جهت نیرویی که وارد کرده‌اید و شما در جهت عکس آن حرکت خواهید کرد.

۴۵۳- در لحظهٔ نشان داده شده در شکل روبه‌رو، آهن‌ربا، آهن را با نیروی ۰/۵ N به طرف خودش می‌کشد. در این لحظه شتاب حرکت آهن و آهن‌ربا به ترتیب چند متر بر مجذور ثانیه است؟ (از اصطکاک سطوح چشم‌پوشی کنید.)



۱) ۵ و ۵ ۲) ۶/۲۵ و ۶/۲۵

۳) ۶/۲۵ و ۵ ۴) ۵ و ۶/۲۵

۴۵۴- امیر به جرم ۲m و بهروز به جرم ۱/۵m با کفش‌های اسکیت روبه‌روی هم روی یخ ایستاده‌اند. اگر امیر، بهروز را با نیروی ۶F هل بدهد، اندازهٔ نیروی واردشده به امیر و شتابی که پیدا می‌کند از راست به چپ برحسب F و m کدام است؟ *(برگرفته از مثال کتاب درسی)*

۱) $8F$، $4\frac{F}{m}$ ۲) $6F$، $4\frac{F}{m}$ ۳) $6F$، $3\frac{F}{m}$ ۴) $8F$، $3\frac{F}{m}$

۴۵۵- دو ذره به جرم‌های $m_1 = 10\,g$ و $m_2 = 25\,g$ به ترتیب دارای بارهای $q_1 = 10\,nC$ و $q_2 = 20\,nC$ هستند. این دو بار در فاصلهٔ $3\,cm$ از هم رها می‌شوند. در لحظهٔ رهاشدن شتاب ذرهٔ (۱) چند برابر شتاب ذرهٔ (۲) است؟

۱) ۱ ۲) ۰/۴ ۳) ۲ ۴) ۲/۵

آزمونک بخش ۱

۴۵۶- چند مورد از عبارت‌های زیر درست است؟

الف) به جسمی که روی زمین در حال سکون است، نیرویی وارد نمی‌شود.

ب) نیروهای وارد بر اتومبیلی که در حال متوقف‌شدن است، متوازن هستند.

پ) در صورتی که نیروی خالص خلاف جهت سرعت باشد، حرکت جسم کندشونده خواهد بود.

ت) واکنش نیروی وزن به زمین وارد می‌شود.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) هیچ‌کدام از عبارت‌ها درست نیستند.

۴۵۷- نیروهای $\vec{F}_1 = 2\vec{i} + 6\vec{j}$ و $\vec{F}_2 = \vec{i} - 2\vec{j}$ برحسب نیوتون، بر جسمی به جرم $m = 2\,kg$ اثر می‌کنند. شتاب حاصل از این دو نیرو چند متر بر مجذور ثانیه می‌شود؟ (سراسری ریاضی ۸۰)

۱) ۲ ۲) ۲/۵ ۳) ۳ ۴) ۳/۵

۴۵۸- چند مورد از عبارت‌های زیر درست است؟

الف) نیروهای کنش و واکنش از برهم‌کنش دو جسم به وجود می‌آیند.

ب) نیروهای کنش و واکنش همیشه همراه هم ظاهر می‌شوند.

پ) نیروهای متوازن در نحوهٔ حرکت یک جسم متحرک تغییری ایجاد نمی‌کند.

ت) نیروهای کنش و واکنش متوازن‌اند.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

۴۵۹- اتومبیلی به جرم $1200\,kg$ پس از طی مسافت $300\,m$، با شتاب ثابت سرعتش از $36\,km/h$ به $72\,km/h$ می‌رسد. برایند نیروهای وارد بر آن چند نیوتون است؟ (ق.م)

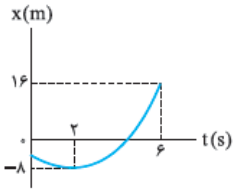
۱) ۶۰ ۲) ۶۰۰ ۳) ۲۴۰ ۴) ۲۴۰۰

۴۶۰- رانندهٔ اتومبیلی یک آویز چشم‌نظر به آینهٔ جلوی اتومبیلش وصل کرده است. او با سرعت ثابت $70\,km/h$ در حال حرکت است؛ ولی ناگهان مانعی جلوی خود می‌بیند و ترمز می‌کند. آویز به طرف ..... منحرف می‌شود که این پدیده با قانون ..... نیوتون توجیه می‌شود.

۱) جلو ـ اول ۲) عقب ـ اول

۳) جلو ـ دوم ۴) عقب ـ دوم

۴۶۱- نمودار مکان ـ زمان جسمی به جرم $2/5\,kg$ مطابق شکل است. نیروی خالص وارد بر این جسم چند نیوتون است؟ (نمودار قسمتی از یک سهمی است.) (سراسری ریاضی ۸۸ خارج از کشور)



۱) $\frac{10}{3}$ ۲) $\frac{4}{3}$

۳) ۳ ۴) ۷/۵

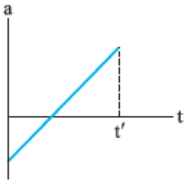
۴۶۲- وزنه‌های $(m)\,kg$ و $(m+2)\,kg$ به ترتیب تحت اثر نیروهای F و $1/2F$ شتاب یکسان می‌گیرند. m چند کیلوگرم است؟ (ق.م)

۱) ۴ ۲) ۰/۴ ۳) ۲/۴ ۴) ۱۰

۴۶۳- سه نیروی ۱۵، ۲۰ و ۲۵ نیوتونی با هم به جسمی به جرم $3\,kg$ وارد می‌شوند و جسم در حال سکون است. اگر نیروی $15\,N$ را حذف کنیم، جسم با چه شتابی برحسب متر بر مجذور ثانیه شروع به حرکت خواهد کرد؟

۱) ۵ ۲) ۱۰ ۳) ۱۵ ۴) ۲۰

۴۶۴- نمودار شتاب ـ زمان جسمی در مدت زمان t' به صورت روبه‌رو است. اندازهٔ برایند نیروهای وارد بر این جسم در این مدت چگونه تغییر کرده است؟



۱) پیوسته افزایش یافته ۲) پیوسته کاهش یافته

۳) ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته ۴) ابتدا کاهش و سپس افزایش یافته

۴۶۵- وقتی برایند نیروهای وارد بر جسم در حال حرکت صفر نیست، کدام گزارهٔ زیر درست است؟ (ق.م)

۱) الزاماً جسم در راستای برایند نیروها حرکت می‌کند. ۲) الزاماً سرعت حرکت جسم در راستای برایند نیروهاست.

۳) الزاماً سرعت در هر لحظه بر مسیر حرکت مماس است. ۴) الزاماً شتاب حاصل از نیرو و سرعت هم‌جهت هستند.

بخش ۱: قانون‌های نیوتون در دینامیک

علم دینامیک و تفاوت آن با حرکت‌شناسی

(درس ۱)

این خودرو می‌تواند در بازهٔ زمانی ۲ s تندی‌اش را از صفر به ۹۶ km / h برساند و حداکثر تندی‌اش به ۴۸۴ km / h می‌رسد. (*هی، بدک نیست!*) ما در حرکت‌شناسی، حرکت این خودرو را تحلیل می‌کنیم و برای **مکان**، **سرعت** و **شتابش** معادله می‌نویسیم و نمودار رسم می‌کنیم. در واقع حرکت‌شناسی برای ما مشخص می‌کند که یک جسم **چگونه** حرکت می‌کند؛ اما اگر بخواهیم بدانیم که جسم **چرا** حرکت می‌کند، باید وارد قلمروی علم **دینامیک** شویم. اصلی‌ترین کمیتی که در فصل دینامیک با آن سروکار داریم، **نیرو** است، به طوری که حتی می‌توانیم بگوییم دینامیک «**علم بررسی نیروها**» است.

تعریف نیرو: وقتی جسمی را «**هُل می‌دهیم**» یا «**می‌کشیم**»، به آن نیرو وارد کرده‌ایم. برای این‌که به تعریف دقیقی از نیرو برسیم، باید بدانیم که برای ایجاد نیرو، دو جسم لازم است؛ یکی جسمی که نیرو وارد می‌کند و دیگری جسمی که نیرو به آن وارد می‌شود. در واقع **نیرو، اثر متقابل (یا برهم‌کنش) دو جسم بر یکدیگر است.**

چندنکته

۱ در فرهنگ واژگان فیزیک واژه‌هایی مانند «اثر»، «کنش»، «واکنش»، «عمل» و «عکس‌العمل» معادل نیرو به کار می‌روند.

۲ یکای نیرو در SI، نیوتون (N) است.

۳ نیرو کمیتی برداری است یعنی به غیر از اندازه، جهت هم دارد. (*مثلاً وقتی بیلیارد بازی می‌کنین، هم باید هواستون به مقدار نیرویی که به گوی اثر می‌دید باشه و هم به جهتش.*)

دسته‌بندی نیروها

نیروها دو دسته‌اند: (الف) تماسی (ب) میدانی

الف) نیروهای تماسی: بیشتر نیروهایی که ما می‌شناسیم، در اثر تماس دو جسم به هم ایجاد می‌شوند و به محض این‌که تماس این دو قطع بشود، نیرو هم حذف می‌شود. مثلاً وقتی توپی را پرتاب می‌کنید، تا لحظه‌ای که توپ در دستان شماست، به آن نیرو وارد می‌شود و به محض این‌که تماس توپ با دستان شما قطع شود، نیرویی که دست به توپ وارد می‌کند هم حذف می‌شود. نیروهایی مثل اصطکاک، مقاومت هوا، عمودی تکیه‌گاه، کشش طناب و فنر، نیروی شناوری و ... نیروی تماسی هستند.

ب) نیروهای میدانی: این نیروها به واسطهٔ یک میدان (مانند میدان الکتریکی، میدان مغناطیسی یا میدان گرانشی) که یک جسم ایجاد کرده است، بر جسم دیگر اثر می‌کنند. ویژگی این نیروها این است که تماس در ایجاد آن‌ها نقشی ندارد و از راه دور بر یک جسم اثر می‌کنند. سه نیروی گرانشی (مثل وزن اجسام)، نیروی الکتریکی و نیروی مغناطیسی، نیروی میدانی هستند.

در محدودهٔ کتاب درسی، هر نیرویی غیر از سه نیروی گرانشی، الکتریکی و مغناطیسی، تماسی هستند.

۳۹۹- گزینهٔ ۳ حتماً از فیزیک (۲) فصل الکتریسیتهٔ ساکن یادتان هست که یک ذرهٔ باردار می‌تواند در اطراف خودش میدان الکتریکی ایجاد کند (پس ۲ جواب نیست) و هر جا میدان الکتریکی باشد، اختلاف پتانسیل الکتریکی هم هست (پس ۱ هم نادرست است) ولی برای اعمال نیرو حتماً باید دو جسم باشد، یکی جسمی که نیرو را وارد می‌کند و دیگری جسمی که نیرو به آن وارد می‌شود.

۴۰۰- گزینهٔ ۲ نیروی اصطکاک، کشسانی فنر، عمودی تکیه‌گاه و شناوری تماسی‌اند ولی سه نیروی گرانشی، مغناطیسی و الکتریکی میدانی‌اند و برای اعمال آن‌ها نیازی به تماس دو جسم نیست.

(درس ۲)

قانون‌های نیوتون دربارهٔ حرکت اجسام

قانون اول نیوتون

«یک جسم ساکن، ساکن می‌ماند و جسم متحرک به حرکت یکنواخت خود روی خط راست ادامه می‌دهد، اگر و تنها اگر نیروی خالص (یا برایند نیروهای) وارد بر جسم صفر باشد.»

چندنکته

۱ این سه اصطلاح معادل‌اند: نیروهای وارد بر جسم متوازن‌اند = نیروی خالص وارد بر جسم صفر است = برایند نیروهای وارد بر جسم صفر است.

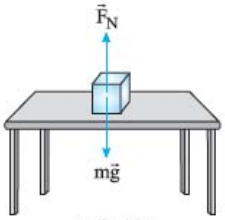
۲ قانون اول نیوتون دوطرفه است! یعنی اگر دیدید که جسمی **ساکن** است یا حرکتش **راست‌خط یکنواخت است**، مطمئن باشید که **نیروی خالص وارد بر آن هم صفر است** و یا اگر **نیروی خالص وارد بر جسمی صفر باشد**، بدانید که این جسم یا **ساکن** است یا در حال حرکت با **سرعت ثابت بر مسیر مستقیم** است.

۳ از نظر حرکت‌شناسی، ویژگی مشترک جسم ساکن و جسمی که با سرعت ثابت بر مسیر مستقیم حرکت می‌کند، این است که شتاب در هر دو وضعیت صفر است، پس می‌توانیم قانون اول نیوتون را به این شکل خلاصه کنیم:

«هرگاه نیروی خالص وارد بر جسمی صفر باشد، شتاب آن هم صفر خواهد شد و بالعکس.»

$$F_{net} = 0 \Rightarrow a = 0$$
$$a = 0 \Rightarrow F_{net} = 0$$

۴ ساکن‌بودن یا حرکت راست‌خط یکنواخت داشتنِ یک جسم به این معنی نیست که الزاماً هیچ نیرویی بر آن اثر نمی‌کند. ممکن است بر این جسم نیروهایی هم اثر کند، اما آن‌چه مسلم است این است که برایند نیروهای وارد بر جسم صفر است. مثلاً به جعبه‌ای که روی میز است، دست‌کم دو نیرو اثر می‌کند (شکل الف).



شکل (الف)

۵ اگر بر جسم هیچ نیرویی اثر نکند، جسم تغییر شکل نمی‌دهد، اما اگر بر آن نیرو اثر کند ولی نیروی خالص صفر باشد، جسم تغییر شکل می‌دهد. مثلاً در شکل (ب) فنر از دو طرف با نیروی یکسان کشیده شده و با آن‌که نیروی خالص وارد بر آن صفر است، اما تغییر شکل داده است.

شکل (ب)

حواستون باشه! *در اجسام غیرکشسان تغییر شکل محسوس نیست؛ یعنی ما اون رو حس نمی‌کنیم ولی در ابعاد میکروسکوپی تغییر شکل وجود داره.*

۶ هر وقت در صورت یک مسئله مفاهیم زیر را دیدید، شک نکنید که قانون اول نیوتون کاربرد دارد:

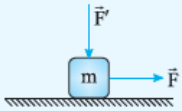
- **«جسم در حال تعادل است.»**
- **«جسم با سرعت ثابت بر خط راست حرکت می‌کند.»**
- **«جسم ساکن است.»**
- **«جسم در آستانهٔ حرکت است.»**

و خلاصه تمام مفاهیمی که از آن نتیجه می‌گیریم، این است که **«شتاب حرکت جسم صفر است.»**

تست **در کدام‌یک از وضعیت‌های زیر، نیروهای وارد بر جسم متوازن نیست؟**

الف) **جسمی به جرم m با سرعت ثابت ۰/۵ m/s به وسیلهٔ فنری در امتداد خط راست کشیده می‌شود.**

ب) **در شکل روبه‌رو جسم m در آستانهٔ حرکت است.**



پ) **خودرویی با تندی ثابت در پیچ یک جاده می‌پیچد.**

ت) **لوستری از سقف آویزان است.**

ث) **کودکی با شتاب ثابت از بالای یک سرسره به پایین سُر می‌خورد.**

۱) الف و پ ۲) پ و ث ۳) ب و ت ۴) ب و ث

پاسخ گزینه ۲ در وضعیت **پ** اندازهٔ سرعت تغییر نمی‌کند؛ اما جهت آن تغییر می‌کند و به همین دلیل حرکت شتابدار بوده و نیروی خالص وارد بر جسم صفر نیست (نیروها متوازن نیستند).

در وضعیت **ث** حرکت شتابدار است؛ بنابراین در این حالت هم نیروها متوازن نیستند.

در سایر وضعیت‌ها نیروهای وارد بر جسم متوازن است؛ زیرا:

حرکت وضعیت **الف** راست‌خط یکنواخت است.

در حالت **ب** هنوز جسم ساکن است و نیروی خالص وارد بر آن صفر است.

در حالت **ت** هم لوستر ساکن است.

تست **بر جسمی n تا نیرو اثر کرده ولی در حال تعادل است. n کدام‌یک از گزینه‌های زیر نمی‌تواند باشد؟**

۱) صفر ۲) ۱ ۳) ۳ ۴) ۵

پاسخ گزینه ۲ تنها حالتی که نیروی خالص وارد بر جسم نمی‌تواند برابر صفر شود، وقتی است که فقط یک نیرو بر جسم اثر کند؛ چون نیرو یا نیروهای دیگری وجود ندارند که با آن متوازن شوند.

۷ وقتی می‌گوییم جسمی در حال تعادل است، یعنی یا آن جسم ساکن است یا در حال حرکت با سرعت ثابت بر روی خط راست است. در واقع قانون اول نیوتون برای جسم‌های در حال تعادل است.

لختی: طبق قانون اول نیوتون، اجسام تمایل دارند وضعیت حرکتشان (یعنی بردار سرعتشان) را تغییر ندهند. به تمایل اجسام برای حفظ وضعیت حرکتشان، **لختی** یا **اینرسی** می‌گوییم.[1]

حواستون باشه! سرشت و طبیعت اجسام این نیست که پس از به حرکت درآمدن به صورت خودبه‌خودی متوقف شوند. مثلاً اگر سوار بر خودروی در حال حرکت باشید و پایتان را از روی پدال گاز بردارید، خودرو تمایل دارد به حرکت خود ادامه دهد و هرگز متوقف نشود؛ اما آن‌چه برخلاف تمایل خودرو باعث توقف آن می‌شود، مقاومت هوا و اصطکاک است.

جرم کمیتی است که لختی اجسام را با آن می‌سنجیم. در واقع هر چه جرم جسم بیشتر باشد، لختی‌اش بیشتر است؛ یعنی هر چه جسم سنگین‌تر باشد، تمایلش به ماندن در وضعیت قبل بیشتر است.

تست در شکل روبه‌رو با کوبیدن انتهای دستهٔ چکش به سطح افقی، چه اتفاقی می‌افتد؟

۱) چکش از دسته جدا می‌شود.
۲) چکش به طرف پایین سفت می‌شود.
۳) برای چکش اتفاقی رخ نمی‌دهد و در همان وضعیت قبلی خود می‌ماند.
۴) بسته به این‌که شدت ضربه چه‌قدر باشد ممکن است هر کدام از اتفاق‌های بالا رخ دهد.

پاسخ گزینهٔ ۲ با کوبیدن دستهٔ چکش به سطح افقی، دسته که در حال حرکت بود ناگهان متوقف می‌شود ولی چکش به خاطر خاصیت لختی دوست دارد به حرکت خودش ادامه دهد؛ پس چکش بر روی دسته کمی به طرف پایین می‌رود و سفت‌تر می‌شود.

تست سیستم خشک‌کن ماشین‌های لباس‌شویی عمدتاً براساس کدام‌یک از ویژگی‌های زیر آب لباس‌ها را می‌گیرد؟

۱) لختی قطره‌های آب و خروج آن‌ها از سوراخ جداره
۲) لختی لباس‌ها و تمایل به ادامه حرکت دایره‌ای
۳) تبخیر آب در اثر تبدیل انرژی جنبشی به گرما
۴) گزینه‌های ۱ و ۲ هم‌زمان رخ می‌دهند.

پاسخ گزینهٔ ۱ قطره‌های آب چون در حال حرکت‌اند، دوست دارند بر مسیر مستقیم حرکت کنند. این تمایل باعث می‌شود که آن‌ها از سوراخ‌های جداره به بیرون فرار کنند. در مورد ۲ هم باید بگوییم که لختی، تمایل به حرکت مستقیم است، نه دایره‌ای.

۴۰۱- گزینهٔ ۳ جسمی که از حالت سکون شروع به حرکت کرده، حتماً بهش نیرو وارد شده؛ وگرنه ثابت می‌ماند (*چی بهتر از تکون نخوردن!!!*)

۴۰۲- گزینهٔ ۳ هر جا که اندازه یا جهت سرعت تغییر کند، نیروها متوازن نیستند؛ پس در موارد «الف»، «پ» و «ث»، نیروها متوازن نیستند.
الف) سرعت اتومبیلی که در حال متوقف‌شدن باشد، در حال کم‌شدن است و ثابت نیست؛ پس در این حالت نیروها متوازن نیستند. / پ) هواپیمایی که در حال دورزدن است، جهت بردار سرعتش تغییر می‌کند. / ث) اگر یادتان باشد، سقوط آزاد نمونه‌ای از حرکت شتابدار بود که در راستای قائم رخ می‌داد؛ پس در این حالت هم نیروها متوازن نیستند.

۴۰۳- گزینهٔ ۱ در نقطهٔ اوج، سرعت متحرک صفر است اما شتاب آن همان شتاب گرانش و به سمت پایین است. وقتی حرکت جسمی شتابدار است، حتماً نیروی خالص وارد بر آن صفر نیست. (نیروی وزن در تمام لحظه‌ها بر جسمی که پرتاب کرده‌ایم وارد می‌شود.)

۴۰۴- گزینهٔ ۲ لختی که نیرو نیست!!! به خاصیتی از اجسام که میل دارند وضعیت حرکت خود را در غیاب نیرو یا صفرشدن نیروی خالص حفظ کنند، لختی می‌گوییم. (لختی مفهومی است که با جرم جسم در ارتباط مستقیم است.)
در مورد ۴ هم بگوییم که هر جسمی که جرم دارد، لختی هم دارد. اگر نیروهای وارد بر جسم شتابدار وقتی سرعت v دارد، حذف شوند، جسم با همان سرعت v به حرکتش ادامه می‌دهد.

۴۰۵- گزینهٔ ۳ دلیل اصلی همهٔ موارد به‌جز حرکت زمین به دور خورشید و پایین آمدن گلوله از سطح شیبدار خاصیت لختی است. در این دو مورد نیروی واردشده به اجسام، عامل حرکت شتابدار آن‌ها است.

۴۰۶- گزینهٔ ۱ برای این‌که بفهمیم چرا فقط مورد «ت» نادرست است، به سراغ بررسی عبارت‌ها می‌رویم: الف) وقتی کاغذ را می‌کشیم، سکه تمایل دارد حالت سکون خود را حفظ کند. اگر کشیدن کاغذ را سریع انجام دهیم، سکه فرصت نمی‌کند با کاغذ همراه شود و تمایل به حفظ حالت اولیه باعث سقوط آن می‌شود (*آدم یاد سقوط امپراطوری نوکیا در موبایل میفته!!!*) / ب) *قلب معلومه که این عبارت درسته!* / پ و ت) عبارت «پ» درست و عبارت «ت» نادرست است. اگر ما به آرامی نخ را بکشیم، نخ بالایی نیروی ما به اضافهٔ نیروی وزن گلوله را تحمل می‌کند ولی نخ پایینی فقط نیروی کشش ما را تحمل می‌کند. کاملاً بدیهی است که نخی که نیروی بیشتری را تحمل می‌کند، زودتر پاره شود اما وقتی ما نخ پایینی را به سرعت می‌کشیم، قضیه فرق می‌کند. در این حالت وقتی گلوله را با نخ می‌کشیم، گلوله می‌خواهد حالت سکون خود را حفظ کند. اگر ما گلوله را سریع بکشیم (مانند حالتی که کاغذ را سریع از زیر سکه می‌کشیم)، گلوله به علت تمایل به ساکن‌ماندن، با ما همراهی نمی‌کند و نخ پایینی پاره می‌شود.

۱- به قانون اول نیوتون، قانون لختی هم می‌گویند.

۴۰۷- گزینهٔ ۴ برای این‌که متحرک با سرعت ثابت حرکت کند، باید برایند نیروهای وارد بر آن صفر شود. نیروی چهارمی که به جسم وارد می‌کنیم را $\vec{F}_4$ می‌نامیم. برای این‌که $\vec{F}_4$ را تعیین کنیم، اول $\vec{F}_1$، $\vec{F}_2$ و $\vec{F}_3$ را به صورت بردارهای یکه برحسب نیوتون می‌نویسیم:

$$\vec{F}_1 = 5\vec{i} \ , \ \vec{F}_2 = -3\vec{j} \ , \ \vec{F}_3 = 1\vec{j}$$

حالا با توجه به این‌که باید $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = 0$ باشد، $\vec{F}_4$ را تعیین می‌کنیم:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = 0 \Rightarrow 5\vec{i} + (-3\vec{j}) + 1\vec{j} + \vec{F}_4 = 0 = \Rightarrow 5\vec{i} + (-2\vec{j}) + \vec{F}_4 = 0 \Rightarrow \vec{F}_4 = -5\vec{i} + 2\vec{j}$$

۴۰۸- گزینهٔ ۱ **گام اول:** ابتدا $\vec{F}_3$، $\vec{F}_4$ و $\vec{F}_5$ را برحسب نیوتون و به صورت بردارهای یکه می‌نویسیم:

$$\vec{F}_3 = -10\vec{j} \ , \vec{F}_4 = 26\vec{j} \ , \vec{F}_5 = 1\vec{i}$$

گام دوم: جسم در حال تعادل است؛ پس $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 + \vec{F}_5 = 0$ است و داریم:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 + \vec{F}_5 = 0 \Rightarrow \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + (-10\vec{j}) + (26\vec{j}) + (1\vec{i}) = 0 \Rightarrow \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + 16\vec{j} + 1\vec{i} = 0 \Rightarrow \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = -1\vec{i} - 16\vec{j}$$

۴۰۹- گزینهٔ ۴ همین که سؤال گفته «سرعت ثابت»، حجت را بر ما برای استفاده از قانون اول نیوتون تمام کرده است. طبق قانون اول باید برایند $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ صفر باشد تا سرعت ثابت بماند؛ پس:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0 \Rightarrow 2\vec{i} - 6\vec{j} + \vec{F}_2 = 0 \Rightarrow \vec{F}_2 = -(2\vec{i} - 6\vec{j}) \Rightarrow \vec{F}_2 = -2\vec{i} + 6\vec{j}$$

(درس ۳) قانون دوم نیوتون

دیدیم قانون اول نیوتون دربارهٔ حالتی است که نیروهای وارد بر جسم متوازن باشند. حالا این سؤال مطرح می‌شود که اگر نیروهای وارد بر جسم متوازن نبودند، چه اتفاقی می‌افتد؟

نیوتون پاسخ این سؤال را در قانون دومش داده است:

«هرگاه نیروی خالص وارد بر جسمی صفر نباشد، حرکت جسم شتابدار خواهد بود»: $F_{net} \neq 0 \Rightarrow a \neq 0$

صبر کنید! هنوز قانون دوم تموم نشده: **این شتاب با برایند نیروهای وارد بر جسم رابطهٔ مستقیم و با جرم جسم رابطهٔ وارون (عکس) دارد:** $\vec{a} = \frac{\vec{F}_{net}}{m}$

در این رابطه اگر شتاب برحسب متر بر مربع ثانیه (m/s^2) و جرم برحسب کیلوگرم (kg) باشد، یکای نیرو «نیوتون» (N) خواهد بود.

رابطهٔ بالا را بیشتر به صورت زیر نشان می‌دهیم:

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a}$$

تست **نیوتون (یکای نیرو در SI) معادل کدام‌یک از گزینه‌های زیر است؟**

۱) $\frac{kg.m}{s}$ ۲) $\frac{kg.m}{s^2}$ ۳) $\frac{kg.m^2}{s^2}$ ۴) $\frac{kg.m^2}{s}$

پاسخ گزینهٔ ۲ کافی است فرمول $F = ma$ را بنویسیم و واحدها را جایگزین کنیم.

$$1N = 1kg \times 1 m/s^2 \Rightarrow 1N = 1\frac{kg.m}{s^2}$$

چندنکته

۱) همان‌طور که در فرمول $\vec{F}_{net} = m\vec{a}$ می‌بینید، $\vec{F}_{net}$ کمیتی برداری است که از ضرب یک کمیت نرده‌ای (m) در یک کمیت برداری $(\vec{a})$ به دست می‌آید. از آن‌جا که جرم همواره مقداری مثبت است، نتیجه می‌گیریم که نیروی خالص $(\vec{F}_{net})$ و شتاب حرکت جسم $(\vec{a})$ همیشه هم‌جهت هستند.

۲) قانون دوم هم مثل قانون اول یک قانون دوطرفه است! یعنی هر جسمی که **شتاب** دارد، قطعاً **برایند نیروهایش صفر نیست** و هر جسمی که برایند نیروهایش صفر نیست، حتماً **شتاب** هم دارد. پس در هر سؤال که اصطلاحات زیر را دیدید، مطمئن باشید که طبق قانون دوم نیوتون، نیروی خالص وارد بر جسم صفر نیست و می‌توانیم از فرمول $F_{net} = ma$ استفاده کنیم.

- جسم با شتاب a در حال حرکت است.
- سرعت جسم (با آهنگ ثابت) تغییر می‌کند.
- نیروهای وارد بر جسم متوازن نیستند.
- جسم از حالت تعادل خارج شده است.
- جسم از حال سکون شروع به حرکت می‌کند.
- جسمی که با سرعت v در حال حرکت است، متوقف می‌شود.
- جسم از ارتفاع معین سقوط می‌کند.

و خلاصه هر مفهومی که از آن شتابداربودنِ حرکت را دریافت کنیم.

تست **نیروی $\vec{F}$ به جسمی به جرم m_1 شتابی به بزرگی $3\ m/s^2$ و همین نیرو به جسم دیگری به جرم m_2 شتابی به بزرگی $5\ m/s^2$ می‌دهد. این نیرو به جسمی به جرم $m_1 - m_2$ چه شتابی برحسب متر بر مربع ثانیه می‌دهد؟**

۱) $\sqrt{34}$ ۲) $7/5$ ۳) 8 ۴) 4

پاسخ کزینهٔ ۲ **گام اول:** قانون دوم نیوتون را برای هر دو جسم m_1 و m_2 می‌نویسیم:

$$F=ma\begin{cases}F=m_1\times 3=3m_1 \Rightarrow m_1=\frac{F}{3}\\ F=m_2\times 5=5m_2 \Rightarrow m_2=\frac{F}{5}\end{cases}$$

گام دوم: حالا می‌خواهیم بدانیم نیروی $\vec{F}$ چه شتابی به جرم m_1-m_2 می‌دهد:

$$F=(m_1-m_2)\times a \Rightarrow F=(\frac{F}{3}-\frac{F}{5})\times a \Rightarrow F=\frac{2F}{15}\times a \Rightarrow a=\frac{15}{2}=7/5\ m/s^2$$

تست نیروی $\vec{F}_1=6\vec{i}+8\vec{j}$ به جسمی به جرم m_1 شتابی به بزرگی a و نیروی $\vec{F}_2=20\vec{i}-15\vec{j}$ به جسمی به جرم m_1+m_2 شتابی به بزرگی $2a$ می‌دهد. نسبت $\frac{m_2}{m_1}$ کدام است؟ (نیروها برحسب نیوتون هستند.)

۱) $\frac{1}{4}$ ۲) $\frac{2}{3}$ ۳) $\frac{5}{4}$ ۴) $\frac{3}{2}$

پاسخ کزینهٔ ۱ **گام اول:** اندازهٔ نیروی $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ را حساب می‌کنیم:

$$\begin{cases}\vec{F}_1=6\vec{i}+8\vec{j} \Rightarrow F_1=\sqrt{6^2+8^2}=10\ N\\ \vec{F}_2=20\vec{i}-15\vec{j} \Rightarrow F_2=\sqrt{20^2+(-15)^2}=25\ N\end{cases}$$

گام دوم: اطلاعاتی را که داریم در رابطهٔ قانون دوم نیوتون قرار می‌دهیم:

$$\begin{cases}F_1=m_1a \Rightarrow 10=m_1a \Rightarrow a=\frac{10}{m_1} & \text{رابطهٔ (۱)}\\ F_2=(m_1+m_2)(2a) \Rightarrow 25=2(m_1+m_2)a & \text{رابطهٔ (۲)}\end{cases}$$

رابطهٔ (۱) را در **رابطهٔ (۲)** جایگزین می‌کنیم:

$$25=2(m_1+m_2)\frac{10}{m_1} \Rightarrow 5=4\times\frac{(m_1+m_2)}{m_1} \Rightarrow 5m_1=4m_1+4m_2 \Rightarrow m_1=4m_2 \Rightarrow \frac{m_2}{m_1}=\frac{1}{4}$$

۳ بدانید و آگاه باشید که شتاب حرکت جسم با نیروی خالص (یا برایند نیروهای) وارد بر جسم متناسب است، نه با تک‌تک نیروهای وارد بر آن! بنابراین اگر چند نیرو به یک جسم وارد شد، ابتدا برایند آن‌ها را محاسبه کنید و سپس شتاب را به دست آورید.

تست بر جسمی به جرم $8\ kg$ هم‌زمان دو نیروی عمود بر هم $F_1=12\ N$ و $F_2=16\ N$ اثر می‌کنند. شتاب حرکت جسم چند متر بر مجذور ثانیه است؟

۱) ۱ ۲) ۱/۵ ۳) ۲ ۴) ۲/۵

پاسخ کزینهٔ ۴ **گام اول:** برایند نیروهای وارد بر جسم را حساب می‌کنیم:

$$F_{net}=\sqrt{F_1^2+F_2^2}=\sqrt{12^2+16^2}=20\ N$$

گام دوم: F_{net} و m را داریم، a را می‌خواهیم:

$$F_{net}=ma \Rightarrow 20=8\times a \Rightarrow a=2/5\ m/s^2$$

تست بر جسمی به جرم $5\ kg$ سه نیروی $\vec{F}_1=-10\vec{j}$، $\vec{F}_2=10\vec{i}+25\vec{j}$ و $\vec{F}_3=-15\vec{i}-20\vec{j}$ اثر کرده‌اند. بردار شتاب حرکت جسم در SI کدام است؟ (یکاهای همهٔ نیروها برحسب نیوتون است.)

۱) $-\vec{i}-\vec{j}$ ۲) $\vec{i}+\vec{j}$ ۳) $-3\vec{i}+\vec{j}$ ۴) $-\vec{i}+3\vec{j}$

پاسخ کزینهٔ ۱ **گام اول:** برایند نیروها را می‌نویسیم:

$$\vec{F}_{net}=\vec{F}_1+\vec{F}_2+\vec{F}_3=-10\vec{j}+(10\vec{i}+25\vec{j})+(-15\vec{i}-20\vec{j})=-5\vec{i}-5\vec{j}$$

گام دوم: از قانون دوم نیوتون $(\vec{F}_{net}=m\vec{a})$ بردار شتاب را پیدا می‌کنیم:

$$\vec{a}=\frac{\vec{F}_{net}}{m}=\frac{-5\vec{i}-5\vec{j}}{5}=-\vec{i}-\vec{j}$$

اگر موافقید، دو تا تست سخت‌تر با هم ببینیم:

تست بر جسمی به جرم $2\ kg$ دو نیروی $\vec{F}_1=\alpha\vec{i}+\beta\vec{j}$ و $\vec{F}_2=\beta\vec{i}-\alpha\vec{j}$ وارد می‌شود. اگر اندازهٔ $\vec{F}_2$ برابر $10\ N$ باشد، شتاب حرکت جسم چند متر بر مربع ثانیه است؟

۱) ۱۰ ۲) $10\sqrt{2}$ ۳) ۵ ۴) $5\sqrt{2}$

پاسخ کزینهٔ ۴ **گام اول:** اندازهٔ $\vec{F}_2$ برابر $10\ N$ است؛ یعنی:

$$F_2=\sqrt{\beta^2+(-\alpha)^2} \Rightarrow \sqrt{\beta^2+\alpha^2}=10\ N \quad \text{رابطهٔ (۱)}$$

گام دوم: برایند دو نیروی $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ را برحسب α و β به دست می‌آوریم:

$$\vec{F}_{net}=\vec{F}_1+\vec{F}_2=(\alpha\vec{i}+\beta\vec{j})+(\beta\vec{i}-\alpha\vec{j})=(\alpha+\beta)\vec{i}+(\beta-\alpha)\vec{j}$$

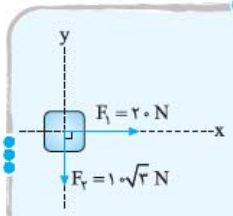
$$\Rightarrow F_{net}=\sqrt{(\alpha+\beta)^2+(\beta-\alpha)^2}$$

$$=\sqrt{\alpha^2+\beta^2+2\alpha\beta+\beta^2+\alpha^2-2\alpha\beta}=\sqrt{2(\alpha^2+\beta^2)}=(\sqrt{\alpha^2+\beta^2})\times\sqrt{2} \xrightarrow{\text{رابطهٔ (۱)}} F_{net}=10\sqrt{2}\ N$$

گام سوم از رابطهٔ $F_{net}=ma$، شتاب هم به دست می‌آید:

$$a=\frac{F_{net}}{m}=\frac{10\sqrt{2}}{2}=5\sqrt{2}\ m/s^2$$

تست بر جسم ۵ کیلوگرمی شکل روبه‌رو، هم‌زمان سه نیرو وارد می‌شود و اندازهٔ شتاب جسم $4\ m/s^2$ و جهت آن در خلاف جهت محور x است. بردار نیروی $\vec{F}_3$ (که در شکل رسم نشده) در SI کدام است؟



۱) $-40\vec{i} + 10\sqrt{3}\vec{j}$
۲) $-40\vec{i} - 10\sqrt{3}\vec{j}$
۳) $10\sqrt{3}\vec{j}$
۴) $-10\sqrt{3}\vec{j}$

پاسخ کزینهٔ ۱ **گام اول:** شتاب حرکت $4\ m/s^2$ و در خلاف جهت محور xها است، پس می‌توانیم بردار شتاب را به این صورت نشان دهیم:

$$\vec{a} = -4\vec{i}$$

با داشتن شتاب، نیروی خالص وارد بر جسم هم به دست می‌آید:

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} = 5\times(-4\vec{i}) = -20\vec{i}$$

گام دوم: نیروی ۲۰ نیوتونی $\vec{F}_1$ در جهت محور x و نیروی $10\sqrt{3}$ نیوتونی $\vec{F}_2$ در خلاف جهت محور y است؛ یعنی:

$$\vec{F}_1 = 20\vec{i}\ ,\ \vec{F}_2 = -10\sqrt{3}\vec{j}$$

گام سوم: نیروی خالص $(\vec{F}_{net})$ و همچنین $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ را داریم و $\vec{F}_3$ را می‌خواهیم:

$$\vec{F}_{net} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 \Rightarrow -20\vec{i} = +20\vec{i} + (-10\sqrt{3})\vec{j} + \vec{F}_3 \Rightarrow \vec{F}_3 = (-20\vec{i}) - (20\vec{i}) - (-10\sqrt{3}\vec{j}) = -40\vec{i} + 10\sqrt{3}\vec{j}$$

تست بر جسمی به جرم $1/5\ kg$ پنج نیروی ۸، ۱۲، ۳، ۷ و ۹ نیوتونی اثر کرده است. جسم با تندی ثابت $3\ m/s$ بر روی خط راست حرکت می‌کند. اگر نیروی ۱۲ نیوتونی را حذف کنیم، جسم با شتاب چند متر بر مجذور ثانیه به حرکت خود ادامه می‌دهد؟

۱) ۸ ۲) ۶ ۳) ۴ ۴) ۲

پاسخ کزینهٔ ۱ قبل از حذف نیروی ۱۲ نیوتونی، حرکت جسم، راست‌خط با سرعت ثابت بوده و طبق قانون اول نیوتون در این حالت نیروی خالص وارد بر جسم صفر بوده است. بنابراین برایند چهار نیروی دلخواه، نیروی پنجم را خنثی می‌کند (یعنی برایند هر چهار نیرو هم‌اندازه با نیروی پنجم است.)؛ پس وقتی نیروی ۱۲ نیوتون را حذف کنیم، برایند چهار نیروی باقی‌مانده برابر ۱۲ N خواهد بود و داریم:

$$F_{net} = ma \Rightarrow 12 = 1/5\times a \Rightarrow a = 8\ m/s^2$$

تست بر جسمی سه نیروی $\vec{F}_1 = 6\vec{i} + 8\vec{j}$، $\vec{F}_2 = -12\vec{i} + 9\vec{j}$ و $\vec{F}_3 = -5\vec{j}$ اثر کرده است. پس از آن‌که نیروی چهارم $\vec{F}_4$ را بر جسم اثر می‌دهیم، جسم با تندی ثابت در یک مسیر مستقیم به حرکت خود ادامه می‌دهد. $\vec{F}_4$ کدام است؟ (همهٔ نیروها برحسب نیوتون هستند.)

۱) $11\vec{i} - 17\vec{j}$ ۲) $-6\vec{i} + 12\vec{j}$ ۳) $-11\vec{i} + 17\vec{j}$ ۴) $6\vec{i} - 12\vec{j}$

پاسخ کزینهٔ ۴ باید نیروها به توازن برسند (یعنی برایندشان صفر شود)؛ پس داریم:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = 0 \Rightarrow (6\vec{i} + 8\vec{j}) + (-12\vec{i} + 9\vec{j}) + (-5\vec{j}) + \vec{F}_4 = 0$$
$$\Rightarrow (6-12)\vec{i} + (8+9-5)\vec{j} + \vec{F}_4 = 0 \Rightarrow \vec{F}_4 = 6\vec{i} - 12\vec{j}$$

۴) در فصل حرکت‌شناسی خواندید که برای جسمی که بر مسیر مستقیم با شتاب ثابت حرکت می‌کند، بردار شتاب لحظه‌ای و تغییرات سرعت همواره هم‌جهت است: (منظور از $\vec{a}$ شتاب لحظه‌ای و $\vec{a}_{av}$ شتاب متوسط است.)

$$\vec{a}_{av} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \xrightarrow{\text{در حرکت مستقیم با شتاب ثابت } \vec{a}_{av}=\vec{a} \text{ است.}} \vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

بردار شتاب لحظه‌ای هم‌جهت با $\Delta\vec{v}$ است. $\Rightarrow$

از طرف دیگر طبق قانون دوم نیوتون، بردار شتاب $\vec{a}$ همواره هم‌سو با نیروی خالص $(\vec{F}_{net})$ است؛ بنابراین می‌توانیم بگوییم در حرکت راست‌خط شتاب ثابت، سه بردار $\vec{F}_{net}$، $\vec{a}$ و $\Delta\vec{v}$ همواره هم‌جهت‌اند. (در واقع نیرو عامل تغییرات سرعت است.)

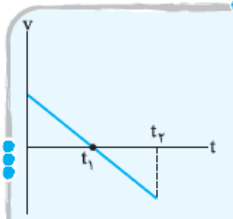
حواستون باشه! $\vec{v}$ با $\Delta\vec{v}$ فرق می‌کنه و بردار سرعت لحظه‌ای $(\vec{v})$ لزوماً هم‌جهت با $\vec{a}$، $\vec{F}_{net}$ و $\Delta\vec{v}$ نیست. در واقع:

الف) در حرکت‌های راست‌خط تندشونده، $\vec{v}$ هم‌سو با $\vec{a}$، $\vec{F}_{net}$ و $\Delta\vec{v}$ است.

ب) در حرکت‌های راست‌خط کندشونده، $\vec{v}$ در خلاف جهت $\vec{a}$، $\vec{F}_{net}$ و $\Delta\vec{v}$ است.

(*معلومه دیگه!* در حرکت کندشونده، نیروی خالص باید در خلاف جهت حرکت و در حرکت تندشونده نیروی خالص باید در جهت حرکت باشد.)

تست اگر نمودار سرعت ـ زمان جسمی که بر مسیر مستقیم حرکت می‌کند، مطابق شکل روبه‌رو باشد، کدام کمیت در بازهٔ زمانی معلوم‌شده، هم‌سو با نیروی خالص نیست؟



۱) بردار سرعت در بازهٔ $(0, t_1)$
۲) بردار جابه‌جایی در بازهٔ (t_1, t_2)
۳) بردار تغییرات سرعت در بازهٔ $(0, t_2)$
۴) بردار شتاب در بازهٔ (t_1, t_2)

پاسخ کزینهٔ ۱ **اول این‌که** شیب نمودار سرعت ـ زمان در کل حرکت منفی است. پس بردارهای شتاب لحظه‌ای $(\vec{a})$، تغییرات سرعت $(\Delta\vec{v})$ و نیروی خالص $(\vec{F}_{net})$ در بازهٔ زمانی صفر تا t_2 منفی هستند. (تا این‌جا ۳ و ۴ هم‌سو با نیروی خالص هستند.)

دوم این‌که نمودار سرعت قبل از لحظهٔ t_1 بالای محور t و بعد از این لحظه پایین محور t قرار دارد. پس قبل از t_1 علامت بردار سرعت مثبت و بعد از آن منفی است. (یعنی ۱ هم‌سو با نیروی خالص نیست و گزینه‌ای که باید انتخاب کنیم، همین است.)

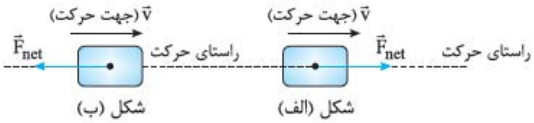
سوم این‌که در حرکت راست‌خط جابه‌جایی هم‌سو با بردار سرعت است. پس جابه‌جایی در کل مسیر هم‌علامت با سرعت است، یعنی در بازهٔ ۰ تا t_1 جابه‌جایی مثبت و در مدت t_1 تا t_2 جابه‌جایی منفی است.

همهٔ این حرف‌ها را در جدول زیر خلاصه می‌کنیم:

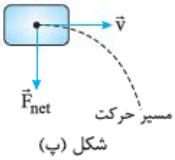
جابه‌جایی $(\Delta\vec{x})$	سرعت $(\vec{v})$	نیروی خالص $(\vec{F}_{net})$	تغییرات سرعت $(\Delta\vec{v})$	شتاب $(\vec{a})$	بازهٔ زمانی
+	+	−	−	−	۰ تا t_1
−	−	−	−	−	t_1 تا t_2

۵ در نکتهٔ قبل دیدیم، **نیروی خالص**، عامل **تغییرات سرعت** است. حالا می‌خواهیم بگوییم که «**بردار نیروی خالص، چه‌وقت اندازه و چه‌وقت جهت بردار سرعت را تغییر می‌دهد؟**» پاسخ این پرسش در حالت‌های زیر است:

الف) **اگر بردار نیروی خالص هم‌راستا با بردار سرعت باشد،** فقط اندازهٔ سرعت تغییر می‌کند و راستای حرکت ثابت می‌ماند (یعنی حرکت راست‌خط است). بسته به این‌که $\vec{F}_{net}$ هم‌سو یا در خلاف جهت $\vec{v}$ باشد، حرکت جسم تندشونده یا کندشونده می‌شود. (در شکل (الف) حرکت راست‌خط تندشونده و در شکل (ب) حرکت راست‌خط کندشونده است.)



پ) **اگر بردار نیروی خالص عمود بر بردار سرعت باشد،** در این صورت فقط جهت سرعت تغییر می‌کند و حرکت بر مسیر منحنی است (در شکل (پ) مسیر حرکت تغییر می‌کند). یادآوری می‌کنیم که بردار سرعت همواره مماس بر مسیر حرکت است.



۶ شاید مهم‌ترین نکتهٔ این بخش این باشد که «**شتاب**» کمیتی است که از حرکت‌شناسی به قلب دینامیک (یعنی فرمول $F_{net} = ma$) نفوذ کرده است! و همیشه طراحان سؤال به کمک کمیت‌های مشترک میان دو مبحث، سؤالات ترکیبی طرح می‌کنند.

تست **اگر بر جسمی به جرم ۲ kg، نیروی خالص و ثابت ۱۰ N وارد کنیم، پس از ۴۰ m جابه‌جایی سرعت آن از حال سکون به چند متر بر ثانیه می‌رسد؟**

۱) ۱۰ ۲) ۲۰ ۳) $۲۰\sqrt{۲}$ ۴) ۴۰

پاسخ گزینهٔ ۲ **گام اول:** نیروی خالص و جرم جسم را داده‌اند. پس می‌توانیم به کمک رابطهٔ $F_{net} = ma$ شتاب را حساب کنیم:

$$F_{net} = ma \Rightarrow a = \frac{F_{net}}{m} = \frac{۱۰}{۲} = ۵\ m/s^۲$$

گام دوم: سرعت اولیه، جابه‌جایی و شتاب را داریم و سرعت نهایی را می‌خواهیم. چون زمان را نه داده و نه خواسته، از رابطهٔ مستقل از زمان به جواب می‌رسیم:

$$v^۲ - v_۰^۲ = ۲a\Delta x \Rightarrow v^۲ - ۰ = ۲\times۵\times۴۰ \Rightarrow v = ۲۰\ m/s$$

تست **جسمی به جرم ۲/۶ kg در فضا، ساکن و معلق است. هم‌زمان سه نیروی $\vec{F}_۱ = ۷\vec{i} - \vec{j}$، $\vec{F}_۲ = -۴\vec{i} - ۲\vec{j}$ و $\vec{F}_۳ = -۸\vec{i} + ۱۵\vec{j}$ به این جسم وارد می‌کنیم. بعد از ۱۳ s بردار سرعت این جسم در SI کدام است؟ (یکای نیروها کیلوگرم‌متر بر مربع ثانیه است.)**

۱) $-۲۵\vec{i} + ۶۰\vec{j}$ ۲) $۲۵\vec{i} - ۶۰\vec{j}$ ۳) $-۱۵\vec{i} + ۳۶\vec{j}$ ۴) $۱۵\vec{i} - ۳۶\vec{j}$

پاسخ گزینهٔ ۱ **گام اول:** بردار نیروی خالص وارد بر جسم را به دست می‌آوریم:

$$\vec{F}_{net} = \vec{F}_۱ + \vec{F}_۲ + \vec{F}_۳ = (۷\vec{i} - \vec{j}) + (-۴\vec{i} - ۲\vec{j}) + (-۸\vec{i} + ۱۵\vec{j}) = -۵\vec{i} + ۱۲\vec{j}$$

گام دوم: چون جسم از حال سکون شروع به حرکت کرده و نیروی خالص وارد بر آن ثابت است، حرکت آن راست‌خط شتاب ثابت می‌شود و می‌توانیم بنویسیم:

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \Rightarrow \frac{\vec{F}_{net}}{m} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_۰}{t - ۰} \Rightarrow \frac{-۵\vec{i} + ۱۲\vec{j}}{۲/۶} = \frac{\vec{v} - ۰}{۱۳ - ۰} \Rightarrow \vec{v} = \frac{۱۳}{۲/۶}(-۵\vec{i} + ۱۲\vec{j}) = -۲۵\vec{i} + ۶۰\vec{j}\ (m/s)$$

بالا به تست متفاوت و کمی سخت‌تر ببینید.

تست **بر دو جسم $m_۱$ و $m_۲$ (که در ابتدا ساکن هستند)، هم‌زمان نیروی خالص و یکسان $\vec{F} = ۶\vec{i} - ۸\vec{j}$ وارد می‌شود. پس از t ثانیه سرعت دو جسم به ترتیب برابر $\vec{v}_۱ = ۹\vec{i} - ۱۲\vec{j}$ و $\vec{v}_۲ = ۳\vec{i} - ۴\vec{j}$ می‌شود. نسبت مسافتی که جسم $m_۱$ در مدت t می‌پیماید به مسافتی که جسم $m_۲$ در این مدت می‌پیماید، کدام است؟ (همهٔ یکاها SI هستند.)**

۱) $\frac{۱}{۳}$ ۲) $\frac{\sqrt{۳}}{۳}$ ۳) ۳ ۴) $\sqrt{۳}$

پاسخ **گزینهٔ ۳** **گام اول:** از آن‌جایی که هر دو جسم در ابتدا ساکن بوده و بر هر دو، نیروی خالص ثابت اثر می‌کند، نتیجه می‌گیریم نوع حرکت جسم راست‌خط شتاب ثابت است.

با توجه به قانون دوم نیوتون، شتاب‌ها را برحسب m_1 و m_2 می‌نویسیم:

$$a_1 = \frac{F}{m_1} \quad و \quad a_2 = \frac{F}{m_2}$$

گام دوم: اندازهٔ سرعت‌های $\vec{v}_1$ و $\vec{v}_2$ را هم حساب می‌کنیم:

$$v_1 = \sqrt{9^2 + (-12)^2} = 15\,m/s \quad و \quad v_2 = \sqrt{3^2 + (-4)^2} = 5\,m/s$$

حالا می‌توانیم به کمک رابطهٔ $v = at + v_0$ نسبت جرم‌ها را حساب کنیم:

$$\begin{cases} v_1 = a_1 t + 0 \Rightarrow 15 = \frac{F}{m_1} t \\ v_2 = a_2 t + 0 \Rightarrow 5 = \frac{F}{m_2} t \end{cases}$$

دو طرف رابطه‌های بالا را به هم تقسیم می‌کنیم:

$$\frac{15}{5} = \frac{\frac{F}{m_1} t}{\frac{F}{m_2} t} \Rightarrow \frac{m_2}{m_1} = 3$$

گام سوم: چون حرکت از حال سکون شروع شده و حرکت راست‌خط شتاب ثابت است، مسافت طی‌شده برابر جابه‌جایی است و داریم:

$$\begin{cases} \ell_1 = \Delta x_1 = \frac{1}{2} a_1 t^2 = \frac{1}{2} \times \frac{F}{m_1} t^2 \\ \ell_2 = \Delta x_2 = \frac{1}{2} a_2 t^2 = \frac{1}{2} \times \frac{F}{m_2} t^2 \end{cases} \Rightarrow \frac{\ell_1}{\ell_2} = \frac{\frac{1}{2}\frac{F}{m_1} t^2}{\frac{1}{2}\frac{F}{m_2} t^2} = \frac{m_2}{m_1} = 3$$

۴۱۰- گزینهٔ ۲ به کمک قانون دوم نیوتون، یعنی $\vec{F} = m\vec{a}$، برای یک جسم یک کیلوگرمی که نیروی وارد بر آن $1\,N$ است، داریم:

$$F = ma \Rightarrow 1\,N = (1\,kg)(1\,m/s^2) \Rightarrow 1\,N = 1\,\frac{kg.m}{s^2}$$

۴۱۱- گزینهٔ ۳ همان‌طور که می‌دانید نیروی خالص با شتاب جسم، همواره هم‌جهت است $(\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m})$. از طرفی در فصل قبل خواندید که شتاب متوسط با تغییرات سرعت هم‌جهت است $(\vec{a}_{av} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t})$؛ پس نیروی خالص متوسط با تغییرات سرعت هم‌جهت است. از طرف دیگر اگر شتاب یا نیرو ثابت باشد، مقدار لحظه‌ای آن با مقدار متوسط آن برابر می‌شود. پس می‌توانیم بگوییم، **نیروی خالص ثابت با تغییرات سرعت همواره هم‌جهت است.**

۴۱۲- گزینهٔ ۳ هرگاه سخن از «کُندشدن، تندشدن، شروع به حرکت کردن و توقف‌کردن و دورزدن» بود، بدانید که پای قانون دوم در میان است (مورد الف و پ). اگر به توپ بسکتبال نیروی وزن وارد نمی‌شد، وقتی به سمت بالا پرتاب می‌شد، هیچ‌وقت پایین نمی‌آمد؛ چون نیرو به توپ وارد می‌شود، حرکت آن را باید به کمک قانون دوم نیوتون توجیه کنیم. عبارت «ت» حاکی از ساکن‌بودن میمون است. ساکن‌بودن یک جسم با قانون اول نیوتون توجیه می‌شود.

۴۱۳- گزینهٔ ۴ خب طراح محترم تست گفته اگر نیروی ۵۰ نیوتونی به جسم وارد کنیم، حرکتش یکنواخت می‌شود. یعنی نیروی ۵۰ نیوتونی اثر نیروهای مقاوم را خنثی می‌کند و نیروی خالص وارد بر جسم صفر می‌شود. حالا اگر یک نیروی ۶۰ نیوتونی به جسم وارد کنیم، $50\,N$ آن صرف خنثی‌سازی اثر نیروهای مقاوم می‌شود و فقط $10\,N$ آن باعث شتاب‌گرفتن متحرک می‌شود. مقدار این شتاب به صورت زیر به دست می‌آید:

$$a = \frac{F_{خالص}}{m} = \frac{60-50}{10} = \frac{10}{10} = 1\,m/s^2$$

۴۱۴- گزینهٔ ۲ **گام اول:** ابتدا به کمک قانون دوم نیوتون یعنی $\vec{F} = m\vec{a}$، نیروی $\vec{F}$ را به صورت برداری به دست می‌آوریم:

$$\vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{F} = 4 \times (2\vec{i} + 1/5\vec{j}) = 8\vec{i} + 6\vec{j}$$

گام دوم: حالا اندازهٔ نیرو را تعیین می‌کنیم:

$$F = \sqrt{8^2 + 6^2} = \sqrt{64 + 36} = \sqrt{100} = 10\,N$$

۴۱۵- گزینهٔ ۳ قانون دوم نیوتون یعنی $\vec{F} = m\vec{a}$ را در نظر بگیرید. طبق مسئله و براساس قانون دوم $20 = ma$ و $28 = m(a+2)$ است. اگر طرفین این دو معادله را بر هم تقسیم کنیم، داریم:

$$\frac{28}{20} = \frac{m(a+2)}{ma} \Rightarrow \frac{7}{5} = \frac{a+2}{a} \Rightarrow 7a = 5(a+2) \Rightarrow 7a = 5a + 10 \Rightarrow 7a - 5a = 10 \Rightarrow 2a = 10 \Rightarrow a = \frac{10}{2} = 5\,m/s^2$$

۴۱۶- گزینهٔ ۳ براساس قانون دوم نیوتون، شتاب جسم با نیروی وارد بر آن رابطهٔ مستقیم و با جرم جسم رابطهٔ عکس دارد. با توجه به این‌که، نیرو ثابت مانده است و جرم حالت ثانویه برابر $m_1 + m_2$ شده است، داریم:

$$\frac{a'}{a} = \frac{F'}{F} \times \frac{m}{m'} \Rightarrow \frac{\frac{2}{3}a}{a} = \frac{F'}{F} \times \frac{m_1}{m_1 + m_2} \xrightarrow{F=F'} \frac{2}{3} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \xrightarrow{\text{طرفین‌وسطین}} 2(m_1 + m_2) = 3m_1 \Rightarrow 2m_1 + 2m_2 = 3m_1$$

$$\Rightarrow 2m_2 = 3m_1 - 2m_1 \Rightarrow 2m_2 = m_1 \Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = 2$$

۴۱۷- گزینهٔ ۱ با توجه به قانون دوم نیوتون $\frac{F_۲}{F_۱}=\frac{m_۲}{m_۱}\times\frac{a_۲}{a_۱}$ است؛ پس:

$$\frac{F_۲}{F_۱}=\frac{m_۲}{m_۱}\times\frac{a_۲}{a_۱}\Rightarrow\frac{\frac{۴}{۳}F}{F}=\frac{m_۲}{m_۱}\times\frac{\frac{۴}{۵}a}{a}\Rightarrow\frac{۴}{۳}=\frac{m_۲}{m_۱}\times\frac{۴}{۵}\Rightarrow\frac{m_۲}{m_۱}=\frac{۵}{۳}\Rightarrow\frac{m_۱}{m_۲}=\frac{۳}{۵}$$

۴۱۸- گزینهٔ ۴ بیایید قانون دوم را در دو حالت برای F بنویسیم:

$$\frac{F}{m}=a$$

$$\frac{F-۳۰}{m}=a-۶\Rightarrow\frac{F}{m}-\frac{۳۰}{m}=a-۶$$

همان‌طور که می‌بینید اگر طرفین دو تساوی را از هم کم کنیم، $\frac{F}{m}$ و a از دو طرف حذف می‌شود و فقط یک رابطه برحسب m می‌ماند؛ پس این کار را می‌کنیم:

$$\frac{F}{m}-(\frac{F}{m}-\frac{۳۰}{m})=a-(a-۶)\Rightarrow\frac{۳۰}{m}=۶\Rightarrow m=\frac{۳۰}{۶}=۵\ kg$$

۴۱۹- گزینهٔ ۴ **روش اول: گام اول:** نیروی $\vec{F}$ را برحسب $m_۱$ و $m_۲$ به دست می‌آوریم و با استفاده از آن نسبت $\frac{m_۱}{m_۲}$ را تعیین می‌کنیم:

$$\begin{cases}F=m_۱a_۱\Rightarrow F=۳m_۱\\\frac{۵}{۳}F=m_۲a_۲\Rightarrow\frac{۵}{۳}F=۱۰m_۲\Rightarrow F=۶m_۲\end{cases}\Rightarrow ۳m_۱=۶m_۲\Rightarrow\frac{m_۱}{m_۲}=\frac{۶}{۳}=۲$$

گام دوم: $m_۱$ دو برابر $m_۲$ است؛ پس:

$$m_۱-m_۲=۲m_۲-m_۲=m_۲$$

گام سوم: برای این‌که بفهمیم نیروی $۲\vec{F}$ به $m_۱-m_۲$ چه شتابی می‌دهد، از این موضوع کمک می‌گیریم که نیروی $\frac{۵}{۳}\vec{F}$ به جرم $m_۲$ شتاب $۱۰\ m/s^۲$ می‌دهد:

$$\frac{a''}{a'}=\frac{F''}{F'}\times\frac{m'}{m''}\Rightarrow\frac{a}{۱۰}=\frac{۲F}{\frac{۵}{۳}F}\times\frac{m_۲}{m_۱-m_۲}\xrightarrow{m_۱-m_۲=m_۲}\frac{a}{۱۰}=\frac{۶}{۵}\times\frac{m_۲}{m_۲}\Rightarrow\frac{a}{۱۰}=\frac{۶}{۵}\Rightarrow a=۱۲\ m/s^۲$$

روش دوم: گام اول: $m_۱$ و $m_۲$ را برحسب F محاسبه می‌کنیم:

$$F=m_۱a_۱\Rightarrow F=۳m_۱\Rightarrow m_۱=\frac{F}{۳}$$

$$\frac{۵}{۳}F=m_۲a_۲\Rightarrow\frac{۵}{۳}F=۱۰m_۲\Rightarrow m_۲=\frac{F}{۶}$$

گام دوم: حالا شتاب وارد بر جرم $m_۱-m_۲$ را حساب می‌کنیم:

$$a'=\frac{۲F}{m_۱-m_۲}=\frac{۲F}{\frac{F}{۳}-\frac{F}{۶}}=\frac{۲F}{\frac{۲F-F}{۶}}=\frac{۲F}{\frac{F}{۶}}=۱۲\Rightarrow a=۱۲\ m/s^۲$$

۴۲۰- گزینهٔ ۲ **روش اول: گام اول:** نیروی پیشرانی که لوکوموتیو در حالت اولیه برای حرکت خودش و قطار ایجاد می‌کند، برابر با مجموع جرم لوکوموتیو $(m_۱)$ و قطار $(m_۲)$ ضربدر شتاب حرکت دو جسم است؛ پس:

$$F=(m_۱+m_۲)a=(۱۰^۴+۵\times۱۰^۴)\times۱/۵\ \underline{\text{فاکتورگیری از }۱۰^۴}\ (۱+۵)\times۱۰^۴\times۱/۵=۶\times۱۰^۴\times۱/۵=۹\times۱۰^۴\ N$$

گام دوم: در حالت ثانویه نیرو تغییر نکرده است و فقط جرم کلی به میزان $m_۳=۳\times۱۰^۴\ kg$ کم شده است:

$$F'=F=(m_۱+m_۲-m_۳)a'\Rightarrow۹\times۱۰^۴=(۱۰^۴+۵\times۱۰^۴-۳\times۱۰^۴)\times a'\Rightarrow۹\times۱۰^۴=(\cancel{۱+۵-۳}^{۳})\times۱۰^۴\times a'$$

$$\Rightarrow a'=\frac{۹\times۱۰^۴}{۳\times۱۰^۴}=۳\ m/s^۲$$

روش دوم: چون شتاب جسمی که به آن نیرو وارد می‌شود، با اندازهٔ نیروی وارد بر آن رابطهٔ مستقیم و با جرم آن رابطهٔ عکس دارد، داریم:

$$\frac{a'}{a}=\frac{m_۱+m_۲}{m_۱+m_۲-m_۳}\times\frac{F'}{F}\xrightarrow{F'=F}\frac{a'}{a}=\frac{۱۰^۴+۵\times۱۰^۴}{۱۰^۴+۵\times۱۰^۴-۳\times۱۰^۴}=\frac{۶\times۱۰^۴}{۳\times۱۰^۴}\Rightarrow\frac{a'}{a}=۲\Rightarrow\frac{a'}{۱/۵}=۲\Rightarrow a'=۲\times۱/۵=۳\ m/s^۲$$

۴۲۱- گزینهٔ ۱ **گام اول:** در این گام اندازهٔ نیرو را در $t=۲\ s$ محاسبه می‌کنیم:

$$\vec{F}=۳t^۲\vec{i}+۸t\vec{j}=۳(۲)^۲\vec{i}+۸(۲)\vec{j}=۱۲\vec{i}+۱۶\vec{j}\Rightarrow|\vec{F}|=\sqrt{۱۲^۲+۱۶^۲}=\sqrt{۱۴۴+۲۵۶}=\sqrt{۴۰۰}=۲۰\ N$$

($۲۰\ N$ را می‌توانستیم به کمک مثلث قائم‌الزاویهٔ $۵k$، $۴k$، $۳k$ هم به دست آوریم.)

گام دوم: حالا که نیرو را داریم، با تقسیم‌کردن نیرو بر شتاب، جرم را تعیین می‌کنیم:

$$F=ma\Rightarrow m=\frac{F}{a}=\frac{۲۰}{۲/۵}=۸\ kg$$

۴۲۲- گزینهٔ ۳ برای این‌که نیروهای وارد بر جسم متوازن باشند، باید شتاب وارد بر جسم صفر شود؛ پس:

$$a=۰\Rightarrow۰=t^۲-۳t-۴=(t-۴)(t+۱)\Rightarrow\begin{cases}t=۴\ s&\text{ق ق}\\t=-۱\ s&\text{غ ق ق}\end{cases}$$

چون در $t=۴\ s$ شتاب صفر می‌شود، براساس قانون اول نیوتون نیروهای وارد بر جسم متوازن می‌شود.

۴۲۳- گزینهٔ ۲ با توجه به قانون دوم نیوتون، معادلهٔ نیرو برحسب زمان به صورت $F = ma = ۰/۵(۴t^۲ - ۱۶t + ۱۲) = ۲t^۲ - ۸t + ۶$ می‌شود. برای رسم این معادلهٔ درجه۲، طبق آن‌چه که در ریاضی خوانده‌اید، به چند نقطه نیاز داریم و آن‌ها عبارت‌اند از: ریشه‌ها، مقدار تابع در $t = \frac{-b}{۲a}$ و مقدار تابع در $t = ۰$. این‌ها را محاسبه می‌کنیم:

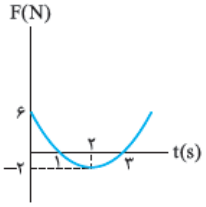
$$t = ۰ \Rightarrow F = ۲(۰)^۲ - ۸(۰) + ۶ = ۶ \text{ N}$$

$$t = \frac{-b}{۲a} = \frac{-(-۸)}{۲\times۲} = \frac{۸}{۴} = ۲ \text{ s} \Rightarrow F = ۲(۲)^۲ - ۸(۲) + ۶ = -۲ \text{ N}$$

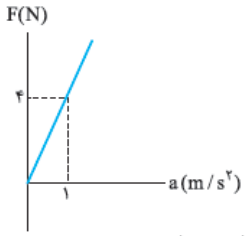
$$F = ۰ \Rightarrow ۲t^۲ - ۸t + ۶ = ۰ \Rightarrow (۲t - ۶)(t - ۱) = ۰ \Rightarrow t = \begin{cases} ۱ \text{ s} \\ ۳ \text{ s} \end{cases}$$

نقطه‌های که داریم به صورت $\begin{bmatrix} ۰ \\ ۶ \end{bmatrix}$، $\begin{bmatrix} ۲ \\ -۲ \end{bmatrix}$، $\begin{bmatrix} ۱ \\ ۰ \end{bmatrix}$ و $\begin{bmatrix} ۳ \\ ۰ \end{bmatrix}$ است.

حالا با این نقاط نمودار را رسم می‌کنیم:



۴۲۴- گزینهٔ ۳ طبق قانون دوم نیوتون $\vec{F} = m\vec{a}$ است؛ پس چیزی که سؤال از ما خواسته، یعنی **نیرو برحسب شتاب** یک عبارت درجه‌اول است. همان‌طور که می‌دانید، نمودار عبارت درجه‌اول یک خط راست است. در این‌جا چون عرض از مبدأ صفر است، خط موردنظر ما در مختصات F برحسب a به صورت مقابل می‌شود:



۴۲۵- گزینهٔ ۲ **گام اول:** زمانی جهت برایند نیروها عوض می‌شود که جهت شتاب عوض شود. در این لحظه شتاب برابر صفر است:

$$۰ = ۶t - ۱۲ \Rightarrow ۱۲ = ۶t \Rightarrow t = \frac{۱۲}{۶} = ۲ \text{ s}$$

گام دوم: در لحظهٔ $t = ۲ \text{ s}$ نیرو تغییر جهت داده است. ما هم سرعت را در لحظهٔ تغییر جهت نیرو می‌خواهیم؛ پس در واقع سرعت در لحظهٔ $t = ۲ \text{ s}$ را می‌خواهیم:

$$v = ۳t^۲ - ۱۲t + ۸ \xrightarrow{t=۲s} ۳(۲)^۲ - ۱۲(۲) + ۸ = -۴ \text{ m/s} \Rightarrow |v| = ۴ \text{ m/s}$$

۴۲۶- گزینهٔ ۴ **گام اول:** جرم و شتاب را که داریم، انگار نیروی خالص را داریم:

$$F = ma \Rightarrow F = ۲۶ \times ۰/۵ = ۱۳ \text{ N}$$

گام دوم: چون دو نیرو عمود بر هم هستند، اندازهٔ نیروی خالص برابر $F = \sqrt{F_۱^۲ + F_۲^۲}$ است؛ پس:

$$F = \sqrt{F_۱^۲ + F_۲^۲} \Rightarrow ۱۳ = \sqrt{۱۲^۲ + F_۲^۲} \xrightarrow{\text{طرفین به توان ۲}} ۱۶۹ = ۱۴۴ + F_۲^۲ \Rightarrow F_۲^۲ = ۱۶۹ - ۱۴۴ = ۲۵ \Rightarrow F_۲ = \sqrt{۲۵} = ۵ \text{ N}$$

۴۲۷- گزینهٔ ۲ در قدم اول با استفاده از شتاب که برحسب متر بر مجذور ثانیه برابر $\vec{a} = ۲\vec{i} - ۴\vec{j}$ است، نیروی خالص وارد بر جرم ۱/۵ کیلوگرمی را محاسبه می‌کنیم:

$$\vec{F}_{\text{خالص}} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{F} = (۱/۵)(۲\vec{i} - ۴\vec{j}) = ۳\vec{i} - ۶\vec{j}$$

این نیروی خالص حاصل از جمع برداری $\vec{F}_۱$ و $\vec{F}_۲$ است:

$$\vec{F}_{\text{خالص}} = \vec{F}_۱ + \vec{F}_۲ \Rightarrow ۳\vec{i} - ۶\vec{j} = (۲\vec{i} - ۵\vec{j}) + \vec{F}_۲ \Rightarrow \vec{F}_۲ = ۳\vec{i} - ۶\vec{j} - (۲\vec{i} - ۵\vec{j}) = ۳\vec{i} - ۶\vec{j} - ۲\vec{i} + ۵\vec{j} \Rightarrow \vec{F}_۲ = \vec{i} - \vec{j}$$

۴۲۸- گزینهٔ ۳ **گام اول:** کاملاً مشخص است که اول باید برایند دو بردار را حساب کنیم:

$$\vec{F}_{\text{خالص}} = \vec{F}_۱ + \vec{F}_۲ = \vec{F}_۱ + (-۲\vec{F}_۱) = -\vec{F}_۱ = -(۳\vec{i} - ۴\vec{j}) = -۳\vec{i} + ۴\vec{j}$$

گام دوم: حالا اندازهٔ نیروی خالص را تعیین می‌کنیم:

$$\vec{F}_{\text{خالص}} = \sqrt{(-۳)^۲ + ۴^۲} = \sqrt{۹ + ۱۶} = \sqrt{۲۵} = ۵ \text{ N}$$

گام سوم: در نهایت با استفاده از قانون دوم $\vec{F} = m\vec{a}$، شتاب را به دست می‌آوریم و کار را تمام می‌کنیم:

$$a = \frac{F_{\text{خالص}}}{m} = \frac{۵}{۰/۵} = ۱۰ \text{ m/s}^۲$$

۴۲۹- گزینهٔ ۳ **گام اول:** احتمالاً شما هم مثل ما شک ندارید که گام اول حل این تست تعیین برایند نیروها است:

$$\vec{F}_{\text{خالص}} = \vec{F}_۱ + \vec{F}_۲ + \vec{F}_۳ = (۲۰\vec{i} - ۵۰\vec{j}) + (۱۰\vec{i} + ۲۰\vec{j}) + (-۱۰\vec{j}) = ۳۰\vec{i} - ۴۰\vec{j} \Rightarrow F_{\text{خالص}} = \sqrt{(۳۰)^۲ + (۴۰)^۲} = ۵۰ \text{ N}$$

گام دوم: خب حالا نوبت شتاب است. براساس قانون دوم نیوتون $(\vec{F} = m\vec{a})$، برای محاسبهٔ شتاب، به نیرو و جرم نیاز داریم که هر دو را داریم:

$$F = ma \Rightarrow ۵۰ = ۵ \times a \Rightarrow a = \frac{۵۰}{۵} = ۱۰ \text{ m/s}^۲$$

۴۳۰- گزینهٔ ۲ **گام اول:** می‌دانیم براساس قانون دوم نیوتون، جرم جسم ضربدر شتاب، نیروی خالص وارد بر جسم را به ما می‌دهد؛ پس نیروی خالص وارد بر جسم برابر است با:

$$\vec{F}_{\text{خالص}} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{F} = ۵ \times (-۴\vec{i} + ۳\vec{j}) = -۲۰\vec{i} + ۱۵\vec{j}$$

گام دوم: از آن‌جا که نیروی خالص برایند سه نیروی $\vec{F}_۱$، $\vec{F}_۲$ و $\vec{F}_۳$ است، داریم:

$$\vec{F}_{\text{خالص}} = \vec{F}_۱ + \vec{F}_۲ + \vec{F}_۳ \Rightarrow -۲۰\vec{i} + ۱۵\vec{j} = (-۱۵\vec{i} + ۸\vec{j}) + (-۲۱\vec{i} + ۱۹\vec{j}) + \vec{F}_۳ \Rightarrow -۲۰\vec{i} + ۱۵\vec{j} = -۳۶\vec{i} + ۲۷\vec{j} + \vec{F}_۳$$

$$\Rightarrow \vec{F}_۳ = -۲۰\vec{i} + ۱۵\vec{j} - (-۳۶\vec{i} + ۲۷\vec{j}) \Rightarrow \vec{F}_۳ = ۱۶\vec{i} - ۱۲\vec{j}$$

گام سوم: حالا که بردار $\vec{F}_۲$ را برحسب بردارهای یکه داریم، به کمک قضیهٔ فیثاغورس اندازهٔ آن را به دست می‌آوریم:

$$F_۲ = \sqrt{(۱۶)^۲ + (-۱۲)^۲} = \sqrt{۲۵۶ + ۱۴۴} = \sqrt{۴۰۰} = ۲۰\ N$$

۴۳۱- گزینهٔ ۲ **گام اول:** برایند نیروها را برحسب بردارهای یکه تعیین می‌کنیم:

$$\vec{F}_{\text{خالص}} = \vec{F}_۱ + \vec{F}_۲ = ۶\vec{i} + \alpha\vec{j} + ۲\vec{i} - ۲\vec{j} = ۸\vec{i} + (\alpha - ۲)\vec{j}$$

گام دوم: اندازهٔ نیروی خالص را به کمک قانون دوم نیوتون محاسبه می‌کنیم و برابر اندازهٔ نیروی خالصی که در گام اول به دست آوردیم، قرار می‌دهیم:

$$F_{\text{خالص}} = ma = ۲/۵ \times ۴ = ۱۰\ N$$

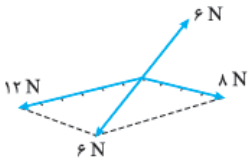
$$۱۰ = \sqrt{۸^۲ + (\alpha - ۲)^۲} \Rightarrow ۱۰۰ = ۶۴ + (\alpha - ۲)^۲ \Rightarrow ۱۰۰ - ۶۴ = (\alpha - ۲)^۲ \Rightarrow ۳۶ = (\alpha - ۲)^۲ \Rightarrow |\alpha - ۲| = ۶$$

گام سوم: چون عبارت قدرمطلقی بالا دو جواب دارد، هر دو جواب را تعیین می‌کنیم:

$$\alpha - ۲ = ۶ \Rightarrow \alpha = ۸$$
$$\alpha - ۲ = -۶ \Rightarrow \alpha = -۴$$

$\alpha = ۸$ در گزینه‌ها نیست و ما چاره‌ای جز انتخاب $\alpha = -۴$ نداریم (۲).

۴۳۲- گزینهٔ ۲ در ابتدا جسم ساکن است. این موضوع به ما می‌گوید که در ابتدا برایند نیروهای وارد بر جسم صفر است. در این حالت اندازهٔ برایند هر دو نیرو باید برابر اندازهٔ نیروی سوم و جهت آن باید مخالف جهت نیروی سوم بشود. مثلاً مطابق شکل روبه‌رو:



با توجه به این موضوع، اگر نیروی ۶ نیوتونی را حذف کنیم، می‌ماند برایند دو نیروی دیگر که آن هم ۶ N است؛ پس شتاب متحرک با حذف نیروی ۶ نیوتونی برابر است با:

$$a = \frac{F_{\text{خالص}}}{m} = \frac{۶}{۴} = ۱/۵\ m/s^۲$$

یک راه دیگر هم برای این‌که بفهمیم پس از حذف نیروی ۶ نیوتونی چه نیروی خالصی به جسم وارد می‌شود، وجود دارد. اگر $F_۱ = ۶\ N$، $F_۲ = ۸\ N$ و $F_۳ = ۱۲\ N$ باشد، در ابتدا جمع برداری سه نیرو صفر شده است؛ پس:

$$\vec{F}_۱ + \vec{F}_۲ + \vec{F}_۳ = ۰$$

حالا اگر طرفین را منهای $\vec{F}_۱$ کنیم، انگار نیروی ۶ نیوتونی را حذف کرده‌ایم؛ پس:

$$\vec{F}_۱ + \vec{F}_۲ + \vec{F}_۳ - \vec{F}_۱ = -\vec{F}_۱ \Rightarrow \vec{F}_۲ + \vec{F}_۳ = -\vec{F}_۱ = -۶\ N \Rightarrow F = ma \Rightarrow ۶ = ۴a \Rightarrow a = ۱/۵\ m/s^۲$$

۴۳۳- گزینهٔ ۱ با حذف $\vec{F}_۲$، برایند نیروها برابر $\vec{F}_۱ + \vec{F}_۳$ است. چون زاویهٔ بین دو نیروی $\vec{F}_۱$ و $\vec{F}_۳$ برابر $۲۷^\circ + ۶۳^\circ = ۹۰^\circ$ است، داریم:

$$F_{\text{خالص}} = |\vec{F}_۱ + \vec{F}_۳| = \sqrt{F_۱^۲ + F_۳^۲} = \sqrt{۸^۲ + ۱۵^۲} = \sqrt{۶۴ + ۲۲۵} = \sqrt{۲۸۹} = ۱۷\ N$$

جرم جسم ۳۴ kg است؛ پس وقتی نیروی خالصی به اندازهٔ ۱۷ N به آن وارد می‌شود، شتابی معادل $a = \frac{F_{\text{خالص}}}{m} = \frac{۱۷}{۳۴} = \frac{۱}{۲}\ m/s^۲$ می‌گیرد.

۴۳۴- گزینهٔ ۳ اگر فصل قبل را خوب خوانده باشید، حتماً یادتان است که وقتی نمودار سرعت ـ زمان یک خط راست است (مثل این‌جا)، شتاب حرکت ثابت است. با توجه به قانون دوم $(F = ma)$ وقتی شتاب ثابت است، نیرو هم ثابت است.

۴۳۵- گزینهٔ ۴ اول به سراغ شتاب می‌رویم و با کمک قانون دوم آن را حساب می‌کنیم.

$$a = \frac{F}{m} = \frac{۲۰}{۵} = ۴\ m/s^۲$$

حالا به کمک $v = at + v_۰$ سرعت پس از ۳ s را حساب می‌کنیم:

$$v = ۴ \times ۳ + ۰ = ۱۲\ m/s$$

۴۳۶- گزینهٔ ۱ **گام اول:** مثل همیشه پیداکردن شتاب اولویت اول ما است، چون شتاب پیوندگاه حرکت‌شناسی و دینامیک است.

چون سرعت اولیه ۲۰ m/s و سرعت نهایی صفر است، شتاب برابر $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۰ - ۲۰}{۴} = -۵\ m/s^۲$ است.

گام دوم: نیروی ترمز باعث شتاب $-۵\ m/s^۲$ شده است که علامت منفی شتاب یعنی در خلاف جهت حرکت است؛ پس برای یک جسم ۴ تنی یا همان ۴۰۰۰ کیلوگرمی داریم:

$$F = ma = ۴۰۰۰ \times ۵ = ۲۰۰۰۰\ N$$

۴۳۷- گزینهٔ ۳ با توجه به قانون دوم نیوتون، اگر برایند نیروهای واردشده به یک جسم مخالف صفر باشد، جسم شتابی می‌گیرد که با اندازهٔ نیرو رابطهٔ مستقیم و با جرم جسم رابطهٔ عکس دارد. هنگامی که آب باران در پشت کامیون جمع می‌شود، به تدریج به جرم آن افزوده می‌شود و به این ترتیب با توجه به ثابت‌بودن نیروی موتور، شتاب آن کاهش می‌یابد. اما با توجه به این‌که علامت شتاب تغییر نکرده است، می‌توانیم بگوییم که سرعت آن به طور پیوسته در حال افزایش است. با کاهش شتاب، فقط میزان افزایش سرعت کاهش می‌یابد اما به هر حال سرعت در حال زیادشدن است.

۴۳۸- گزینهٔ ۲ **گام اول:** شتاب، محل پیوند حرکت‌شناسی و دینامیک است؛ پس اول به سراغ محاسبهٔ شتاب می‌رویم:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{۵۰۰۰}{۱۰۰۰} = ۵\ m/s^۲$$

گام دوم: شتاب $(a = ۵\ m/s^۲)$، جابه‌جایی $(\Delta x = ۱۰\ m)$ و سرعت اولیه $(v_۰ = ۰)$ را داریم و مدت‌زمان جابه‌جایی را می‌خواهیم. در این شرایط چه رابطه‌ای بهتر از $\Delta x = \frac{۱}{۲}at^۲$:

$$\Delta x = \frac{۱}{۲}at^۲ \Rightarrow ۱۰ = \frac{۱}{۲} \times ۵ \times t^۲ \Rightarrow ۲۰ = ۵t^۲ \Rightarrow t^۲ = \frac{۲۰}{۵} = ۴ \Rightarrow t = ۲\ s$$

۴۳۹- گزینهٔ ۳ وقتی چهار نیرو به جسم وارد می‌شود، جسم در حالت تعادل است؛ خب این یعنی جمع برداری این چهار نیرو صفر است. قبلاً هم گفته بودیم وقتی چنین اتفاقی می‌افتد، با حذف یکی از بردارها، برایند بردارهای دیگر برابر برداری **هم‌اندازه** ولی در خلاف جهت بردار حذف‌شده می‌شود. در این تست طراح محترم کنکور سراسری نیروی ۱۵ نیوتونی را حذف کرده است؛ پس اندازهٔ برایند نیروهای باقی‌مانده برابر ۱۵ N است و شتاب حاصل از این نیروی خالص ۱۵ نیوتونی برابر است با:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{۱۵}{۲} = ۷/۵\ m/s^۲$$

اما ما شتاب را نمی‌خواهیم بلکه تغییرات سرعت را می‌خواهیم؛ پس کار این‌جا تمام نمی‌شود و باید به کمک رابطهٔ $\Delta v = a\Delta t$ تغییر سرعت را محاسبه کنیم:

$$\Delta v = a\Delta t = ۷/۵ \times ۲ = ۱۵\ m/s$$

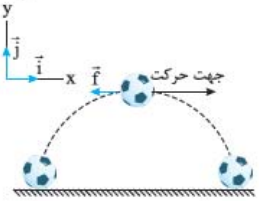
۴۴۰- گزینهٔ ۳ **گام اول:** نیروی وزن را محاسبه می‌کنیم:

$$W = mg = ۱/۲ \times ۱۰ = ۱۲\ N$$

گام دوم: نیروی وزن قائم و نیروی مقاومت هوا افقی است؛ پس بر هم عمود هستند و داریم:

$$F_{خالص} = \sqrt{W^۲ + f^۲} \Rightarrow ۱۳ = \sqrt{۱۲^۲ + f^۲} \Rightarrow ۱۳^۲ = ۱۲^۲ + f^۲ \Rightarrow ۱۶۹ = ۱۴۴ + f^۲ \Rightarrow f^۲ = ۲۵ \Rightarrow f = ۵\ N$$

گام سوم: نیروی مقاومت هوا خلاف جهت حرکت است. پس مطابق شکل روبه‌رو، در بالاترین نقطه، این نیرو به طور افقی و به سمت چپ است.



$$\vec{f} = -۵\vec{i}$$

گام چهارم: پس شتاب حاصل از مقاومت هوا برابر است با:

$$\vec{a} = \frac{\vec{f}}{m} = \frac{-۵\vec{i}}{۱/۲} \simeq (-۴/۱۶\vec{i})\ m/s^۲$$

۴۴۱- گزینهٔ ۲ حرکت متحرک با شتاب ثابت است چون معادلهٔ مکان ـ زمان به صورت یک معادلهٔ درجه‌دوم است؛ پس شتاب و در نتیجه نیرو در طول زمان ثابت‌اند و فرقی ندارد مقدار آن‌ها را در چه لحظه‌ای حساب می‌کنیم. اول به سراغ شتاب می‌رویم. همان‌طور که در فصل قبل دیدید معادلهٔ حرکت یک متحرک با شتاب ثابت به صورت $x = \frac{۱}{۲}at^۲ + v_۰t + x_۰$ است؛ پس در معادلهٔ $x = ۵t^۲ + ۴t + ۳$، نصف شتاب برابر ۵ است:

$$\frac{۱}{۲}a = ۵ \Rightarrow a = ۱۰\ m/s^۲$$

حالا که شتاب را محاسبه کردیم، وقت محاسبهٔ نیرو است:

$$F = ma = ۵ \times ۱۰ = ۵۰\ N$$

۴۴۲- گزینهٔ ۳ **گام اول:** سرعت برحسب کیلومتر بر ساعت دردی از ما دوا نمی‌کند؛ پس اول سرعت را برحسب متر بر ثانیه می‌نویسیم:

$$۳۶\ km/h = (۳۶ \times \frac{۱}{۳/۶})\ m/s = ۱۰\ m/s$$

گام دوم: سرعت اتومبیل در مدت ۲۰ s از ۱۰ m/s به صفر می‌رسد؛ بنابراین شتاب حرکت برابر است با:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۰ - ۱۰}{۲۰} = -\frac{۱}{۲}\ m/s^۲$$

گام سوم: اندازهٔ نیروی برایند برابر است با اندازهٔ جرم ضربدر شتاب:

$$|F| = |ma| \Rightarrow |F| = |۱۸۰۰ \times (-\frac{۱}{۲})| = ۹۰۰\ N$$

۴۴۳- گزینهٔ ۴ وقتی نیروی $\vec{F}$ به جسم وارد می‌شد، سرعت جسم ثابت بوده است. این به معنی این است که $\vec{F}$ باعث تعادل جسم می‌شد و برایند نیروهای دیگر برابر $-\vec{F}$ بوده است؛ پس برای به دست آوردن اندازهٔ نیروی $\vec{F}$ کافی است شتاب را پس از حذف $\vec{F}$ به دست آوریم و آن را ضربدر جرم یعنی ۴ kg کنیم. چون سرعت اولیه، سرعت نهایی و جابه‌جایی را داریم، بهترین روش برای به دست آوردن شتاب، استفاده از معادلهٔ مستقل از زمان است:

$$v^۲ - v_۰^۲ = ۲a\Delta x \Rightarrow ۰ - ۲۰^۲ = ۲ \times a \times ۲۰ \Rightarrow -۴۰۰ = ۴۰a \Rightarrow a = \frac{-۴۰۰}{۴۰} = -۱۰\ m/s^۲ \Rightarrow |a| = ۱۰\ m/s^۲$$

حالا که شتاب را به دست آوردیم، به سراغ اندازهٔ $\vec{F}$ می‌رویم:

$$|\vec{F}| = ma = ۴ \times ۱۰ = ۴۰\ N$$

۴۴۴- گزینهٔ ۳ **گام اول:** اندازهٔ شتاب حرکت را به کمک قانون دوم محاسبه می‌کنیم:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{۵}{۱۰} = \frac{۱}{۲}\ m/s^۲$$

گام دوم: شتاب خلاف جهت حرکت است؛ پس $a = -\frac{۱}{۲}\ m/s^۲$ است. سرعت اولیه هم که برابر ۱۰ m/s است؛ در نتیجه داریم:

$$x = \frac{۱}{۲}at^۲ + v_۰t \Rightarrow x = \frac{۱}{۲}(-\frac{۱}{۲})t^۲ + ۱۰t \Rightarrow x = -\frac{۱}{۴}t^۲ + ۱۰t$$

۴۴۵- گزینهٔ ۴ طبق قانون دوم، $F = ma$ است؛ بنابراین $\frac{F_۱}{F_۲} = \frac{m_۱}{m_۲} \times \frac{a_۱}{a_۲}$ است. $\frac{m_۱}{m_۲}$ را که نمی‌توانیم کاری کنیم ولی می‌توانیم $\frac{a_۱}{a_۲}$ را برحسب $t_۱$ و $t_۲$ به دست آوریم. در سؤال گفته شده است که جابه‌جایی دو جسم برابر است. با توجه به این‌که دو جسم در ابتدا ساکن بوده‌اند، داریم:

$$\Delta x_۱ = \Delta x_۲ \Rightarrow \frac{۱}{۲}a_۱t_۱^۲ = \frac{۱}{۲}a_۲t_۲^۲ \Rightarrow \frac{a_۱}{a_۲} = \frac{t_۲^۲}{t_۱^۲}$$

خب حالا در معادلهٔ $\frac{F_۱}{F_۲} = \frac{m_۱}{m_۲} \times \frac{a_۱}{a_۲}$، به جای $\frac{a_۱}{a_۲}$ مقدار $\frac{t_۲^۲}{t_۱^۲}$ را قرار می‌دهیم:

$$\frac{F_۱}{F_۲} = \frac{m_۱}{m_۲} \times \frac{a_۱}{a_۲} = \frac{m_۱}{m_۲} \times \frac{t_۲^۲}{t_۱^۲} = \frac{m_۱t_۲^۲}{m_۲t_۱^۲}$$

۴۴۶- گزینهٔ ۱ **گام اول:** ابتدا شتاب حرکت را زمانی که به جسم نیرو وارد می‌شود، محاسبه می‌کنیم:

$$a_۱ = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۸ - ۰}{۲} = \frac{۸}{۲} = ۴\ m/s^۲$$

گام دوم: حالا به کمک قانون دوم، اندازهٔ نیروهای مقاوم وارد بر جسم را محاسبه می‌کنیم:

$$F_{خالص} = ma_۱ \Rightarrow F - F_{مقاوم} = ma_۱ \Rightarrow ۵۰ - F_{مقاوم} = ۱۰ \times ۴ = ۴۰ \Rightarrow F_{مقاوم} = ۵۰ - ۴۰ = ۱۰\ N$$

گام سوم: پس از حذف نیروی F، تنها نیروهای مقاوم به جسم وارد می‌شود و جسم شتابی به اندازهٔ $a_۲ = \frac{F_{مقاوم}}{m} = \frac{۱۰}{۱۰} = ۱\ m/s^۲$ و در خلاف جهت حرکت می‌گیرد؛ پس در معادلهٔ $v = at + v_۰$ باید شتاب را $-۱\ m/s^۲$ قرار دهیم تا بتوانیم t را به دست آوریم:

$$v = a_۲t + v_۰ \Rightarrow ۰ = (-۱)t + ۸ \Rightarrow -۸ = -t \Rightarrow t = ۸\ s$$

۴۴۷- گزینهٔ ۴ **گام اول:** نیرو تقسیم بر جرم برابر شتاب است؛ پس:

$$a_۱ = \frac{F}{m} \quad و \quad a_۲ = \frac{F}{m - ۱/۵}$$

گام دوم: برای هر دو حالت معادلهٔ مستقل از زمان را می‌نویسیم:

$$۲a_۱\Delta x = v_۱^۲ - ۰^۲ \Rightarrow ۲ \times (\frac{F}{m}) \times \Delta x = ۱۰^۲ = ۱۰۰$$

$$۲a_۲\Delta x = v_۲^۲ - ۰^۲ \Rightarrow ۲ \times (\frac{F}{m - ۱/۵}) \times \Delta x = ۲۰^۲ = ۴۰۰$$

گام سوم: حالا دو طرف معادله‌ها را بر هم تقسیم می‌کنیم:

$$\frac{۲(\frac{F}{m})}{۲(\frac{F}{m-۱/۵})}=\frac{۱۰۰}{۴۰۰}\Rightarrow\frac{\frac{۱}{m}}{\frac{۱}{m-۱/۵}}=\frac{۱}{۴}\Rightarrow\frac{m-۱/۵}{m}=\frac{۱}{۴}\Rightarrow ۴m-۶=m\Rightarrow ۴m-m=۶\Rightarrow ۳m=۶\Rightarrow m=\frac{۶}{۳}=۲\,kg$$

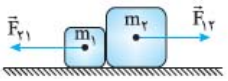
(درس ۴)

قانون سوم نیوتون

در ابتدای این فصل گفتیم نیرو **اثر متقابل** یا **برهم‌کنش دو جسم** بر یکدیگر است. نیوتون در قانون سومش ویژگی‌های این برهم‌کنش را بیان می‌کند. این متن قانون سوم نیوتون است:

«هر کنشی (عملی) را واکنشی (عکس‌العملی) است، هم‌اندازه و هم‌راستا با آن و در جهت مخالفش.»

معنی این جمله این است که اگر جسم (۱) بر جسم (۲) نیروی $\vec{F}_{۱۲}$ را وارد کند، جسم (۲) هم بر جسم (۱) نیروی $\vec{F}_{۲۱}$ را اثر می‌دهد، به طوری که:(یعنی $\vec{F}_{۲۱}$ هم‌اندازه با $\vec{F}_{۱۲}$ ولی در خلاف جهت آن است.)



$$\vec{F}_{۲۱}=-\vec{F}_{۱۲}$$

حالا چند سؤال اساسی مطرح می‌کنیم که پاسخ هر کدومشون یک نکتهٔ مهمه.

چندنکته

۱ نیروی کنش و واکنش هم‌نوع‌اند. مثلاً هر دو گرانشی‌اند یا هر دو الکتریکی‌اند و یا هر دو مغناطیسی‌اند و ...

۲ نیروی کنش زودتر وارد می‌شود یا نیروی واکنش؟

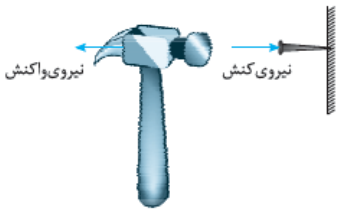
هیچ‌کدام! نیروی کنش و واکنش هم‌زمان و با هم بر دو جسم اثر می‌کنند؛ یعنی نیروی واکنش نسبت به نیروی کنش هیچ تأخر یا تقدم زمانی ندارد. (حتی این‌که کدام نیرو کنش است و کدام واکنش اصلاً اهمیتی ندارد!)

۳ اگر یک جسم سبک (مثلاً مورچه) به یک جسم سنگین (مثلاً فیل) نیروی F وارد کند (مثلاً لگد بزند)، نیروی واکنش جسم سنگین از F بیشتر است یا کم‌تر؟ نیروی واکنش همیشه هم‌اندازه با نیروی کنش است؛ حتی اگر یکی از جسم‌ها از دیگری خیلی سنگین‌تر و بزرگ‌تر باشد.

۴ برایند نیروی کنش و واکنش چه‌قدر است؟

راستش این یک پرسش انحرافی است؛ چون که نیروهای کنش و واکنش اصلاً برایند ندارند. درست است که این دو نیرو هم‌اندازه و در خلاف جهت هم‌اند، اما باید **حواسمان باشد که** بر دو جسم مختلف اثر می‌کنند و برایندگیری دو نیرویی که دو نقطه اثر متفاوت دارند، بی‌معنی است.

در شکل‌های زیر چند نمونه از نیروهای کنش و واکنش را نشان داده‌ایم:

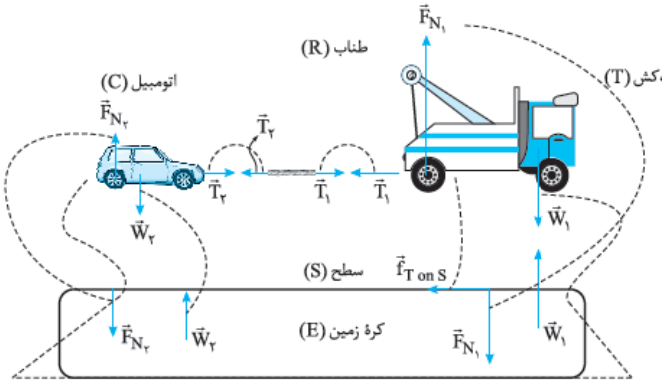


وقتی با یک چکش، یک میخ را به دیوار می‌کوبیم، هم میخ در دیوار فرو می‌رود و هم چکش به عقب رانده می‌شود.

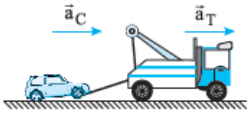
وقتی بر روی سطح زمین راه می‌رویم، کف کفش به سطح افقی (به طرف عقب) نیرو وارد می‌کند و واکنش این نیرو به کفش (به سمت جلو) اثر می‌کند و شخص را به طرف جلو هُل می‌دهد.

موشک گاز داغ را به سمت عقب می‌راند و واکنش نیروی وارد بر گاز به موشک وارد می‌شود و آن را به طرف جلو هدایت می‌کند.

در شکل مقابل، همهٔ نیروهای کنش و واکنش بین یدک‌کش و اتومبیل و سطح افقی و کرهٔ زمین را مشخص کرده‌ایم. (نیروی کنش و واکنش را با خط‌چین به هم مرتبط کرده‌ایم.)



شکل (الف)



شکل (ب)

تست در شکل روبه‌رو، تیراندازی به جرم ۷۶ kg بر روی یک سطح بدون اصطکاک و کاملاً لغزنده ایستاده است و با یک تفنگ ۴ کیلوگرمی گلوله‌ای به جرم ۶۴ g را با شتاب لحظه‌ای ۶۲۵ m/s^2 شلیک می‌کند. در لحظهٔ شلیک، شتاب تیرانداز چند متر بر مربع ثانیه است؟

۱) ۰/۵ ۲) ۲/۵ ۳) ۵ ۴) ۲۵

پاسخ گزینهٔ ۱ (تفنگ در دست تیرانداز است و تیرانداز و تفنگ با هم حرکت می‌کنند.) طبق قانون سوم نیوتون، نیرویی که تفنگ به گلوله وارد می‌کند برابر است با نیرویی که گلوله به تفنگ و تیرانداز اثر می‌دهد؛ پس داریم:

$$F_{12}=F_{21}\Rightarrow m_{\text{گلوله}}a_{\text{گلوله}}=(m_{\text{تیرانداز}}+m_{\text{تفنگ}})a_{\text{تیرانداز}}\Rightarrow ۶۴\times۱۰^{-۳}\times۶۲۵=(۷۶+۴)\times a_{\text{تیرانداز}}\Rightarrow a_{\text{تیرانداز}}=\frac{۶۴\times۱۰^{-۳}\times۶۲۵}{۸۰}=۰/۵\ m/s^2$$

تست دو ذرهٔ باردار یکی به جرم ۱۵ g و بار ۳ μC و دیگری به جرم ۱۲ g و بار q_2 را در فاصلهٔ ۶۰ سانتی‌متری هم قرار داده و سپس رها می‌کنیم. اگر در لحظه‌ای که دو ذره رها می‌شوند، شتاب حرکت ذرهٔ ۱۲ گرمی ۲۵ m/s^2 باشد، در لحظه‌ای که فاصلهٔ دو ذره از هم ۳۰ cm است، شتاب ذرهٔ ۱۵ گرمی چند متر بر مربع ثانیه است؟ $(k=۹\times۱۰^۹\ \frac{N.m^2}{C^2})$

۱) ۳۱/۲۵ ۲) ۴۰ ۳) ۸۰ ۴) ۱۰۰

پاسخ گزینهٔ ۳ **گام اول**: نیروی الکتریکی که دو ذره به هم وارد می‌کنند، نیروی کنش و واکنش است. در حالت اول (فاصلهٔ ۶۰ سانتی‌متری) می‌توانیم این نیرو را از قانون دوم نیوتون حساب کنیم:

$$F=m_2a_2=(۱۲\times۱۰^{-۳})\times۲۵=۰/۳\ N$$

گام دوم: طبق قانون کولن وقتی فاصلهٔ بین دو بار نصف شود، نیروی کنش و واکنش بین آن‌ها ۴ برابر می‌شود:

$$\frac{F'}{F}=(\frac{r}{r'})^2$$

$$F=\frac{kq_1q_2}{r^2}\Rightarrow\frac{F'}{F}=(\frac{r}{r'})^2\Rightarrow\frac{F'}{۰/۳}=(\frac{۶۰}{۳۰})^2\Rightarrow F'=۰/۳\times۴=۱/۲\ N$$

گام سوم: حالا با داشتن نیروی الکتریکی که دو بار در فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متری به هم وارد می‌کنند، می‌توانیم شتاب ذرهٔ ۱۵ گرمی را در این فاصله حساب کنیم:

$$F'=m_1a_1\Rightarrow ۱/۲=(۱۵\times۱۰^{-۳})a_1\Rightarrow a_1=\frac{۱/۲}{۱۵\times۱۰^{-۳}}\Rightarrow a_1=۸۰\ m/s^2$$

۴۴۸- گزینهٔ ۳ درستی ۳ بدیهی است، مثلاً اگر یک جسم به جسم دیگر نیروی الکتریکی وارد کند، جسم دوم هم به جسم اول نیروی الکتریکی وارد می‌کند.

نادرستی گزینه‌های دیگر:

۱) نیروهای کنش و واکنش هم‌زمان هستند ولی هم‌زمان به **دو جسم** وارد می‌شوند.

۲) نیروهای کنش و واکنش هم‌اندازه هستند ولی هم‌جهت نیستند (در خلاف جهت یکدیگرند).

۴) (نیروهای کنش و واکنش همیشه هم‌اندازه‌اند، حتی اگر یکی از جسم‌ها خیلی سنگین‌تر و بزرگ‌تر از دیگری باشد.)

۴۴۹- گزینهٔ ۱ فقط عبارت «ت» درست است. بررسی سایر عبارت‌ها: الف) نیروی کنش و واکنش هم‌زمان به دو جسم اثر می‌کنند. / ب) نه این‌طور نیست. در واقع این دو نیرو اصلاً برایند ندارند که بخواهد صفر باشد، چون به دو جسم مختلف اثر می‌کنند. / پ) اندازهٔ نیروهای کنش و واکنش برابر است و ربطی به این‌که جرم کدام جسم بیشتر است، ندارند.

۴۵۰- گزینهٔ ۲ نیروهای عمل و عکس‌العمل چهار ویژگی دارند: ۱ هم‌اندازه‌اند (رد ۴)، ۲ در خلاف جهت هم هستند (رد ۱)، ۳ به دو جسم وارد می‌شوند، نه یک جسم (رد ۳)، ۴ هم‌جنس هستند، یعنی اگر یکی نیروی الکتریکی است، دیگری هم الکتریکی است.

۴۵۱- گزینهٔ ۴ نیروی وزن W همواره از طرف کرهٔ زمین به جسم (این‌جا لامپ) وارد می‌شود؛ پس واکنش نیروی وزن W از طرف جسم (لامپ) به **کرهٔ زمین** وارد می‌شود، نه جسم دیگری. وزن به سمت پایین است و چون واکنش هر نیرویی در خلاف جهت آن نیرو است، واکنش وزن به سمت بالا است.

۴۵۲- گزینهٔ ۴ وقتی شما دوستتان را هل می‌دهید، دوستتان در جهت نیرویی که شما به او وارد کرده‌اید، حرکت می‌کند. اما این یک طرف قضیه است. هر عملی عکس‌العملی دارد. وقتی شما او را هل می‌دهید، واکنش نیروی شما به دوستتان از طرف او به شما وارد می‌شود. این نیرو هم‌اندازهٔ نیرویی است که شما وارد کردید ولی در خلاف جهت آن است. پس شما در جهت نیروی واردشده به خودتان که جهتش عکس نیرویی است که به دوستتان وارد کرده‌اید، حرکت می‌کنید.

۴۵۳- گزینهٔ ۴ **گام اول**: طبق قانون سوم نیوتون، هر عملی را عکس‌العملی است، درست برابر و در خلاف جهت آن. بدین ترتیب وقتی آهن‌ربا، قطعهٔ آهنی را با نیروی ۰/۵ N به طرف چپ می‌کشد، شک نکنید که آهن هم آهن‌ربا را با نیروی ۰/۵ N به طرف راست خواهد کشید.

گام دوم: حالا کافی است قانون دوم نیوتون را به کار بگیریم:

$$a_{\text{آهن}}=\frac{F}{m_{\text{آهن}}}=\frac{۰/۵}{۰/۱}\Rightarrow a_{\text{آهن}}=۵\ m/s^2$$

$$a_{\text{آهن‌ربا}}=\frac{F}{m_{\text{آهن‌ربا}}}=\frac{۰/۵}{۰/۰۸}\Rightarrow a_{\text{آهن‌ربا}}=۶/۲۵\ m/s^2$$

۴۵۴- گزینهٔ ۳ نیرویی که به امیر وارد می‌شود، عکس‌العمل نیرویی است که امیر به بهروز وارد می‌کند؛ پس اندازهٔ نیرویی که به امیر وارد می‌شود برابر $۶F$ است. شتابی که امیر پیدا می‌کند با توجه به قانون دوم برابر است با:

$$a = \frac{۶F}{۲m} = ۳\frac{F}{m}$$

۴۵۵- گزینهٔ ۴ نیرویی که به دو ذره وارد می‌شود برابر است، چون نیروی الکتریکی که آن‌ها به هم وارد می‌کنند، کنش و واکنش یکدیگرند.

با توجه به قانون دوم، نسبت شتاب اولی به دومی برابر است با:

$$\frac{a_۱}{a_۲} = \frac{F_۱}{F_۲} \times \frac{m_۲}{m_۱} \xrightarrow{F_۱=F_۲} ۱ \times \frac{۲۵}{۱۰} = ۲/۵$$

۴۵۶- گزینهٔ ۲ با موارد «پ» و «ت» که درست است، کاری نداریم؛ اما اگر می‌خواهید بدانید چرا موارد «الف» و «ب» نادرست است، باید در مورد عبارت «الف» بگوییم که به جسمی که روی زمین ساکن است، حداقل دو نیرو وارد می‌شود: ۱ نیروی وزن، ۲ نیرویی که مخالف نیروی وزن باشد (نیروی تکیه‌گاه) عبارت «ب» به این خاطر نادرست است که اگر نیروها متوازن بود که متوقف نمی‌شد؛ به حرکتش با سرعت ثابت ادامه می‌داد.

۴۵۷- گزینهٔ ۲ **گام اول:** برایند دو نیرو را به دست می‌آوریم:

$$\vec{F}_{\text{خالص}} = \vec{F}_۱ + \vec{F}_۲ = ۲\vec{i} + ۶\vec{j} + \vec{i} - ۲\vec{j} = ۳\vec{i} + ۴\vec{j} \Rightarrow F_{\text{خالص}} = \sqrt{۳^۲ + ۴^۲} = \sqrt{۹+۱۶} = \sqrt{۲۵} = ۵\ \text{N}$$

گام دوم: وقتی نیروی خالص و جرم را داریم، برای محاسبهٔ شتاب چیزی کم نداریم. براساس قانون دوم یعنی $F = ma$ داریم:

$$a = \frac{F_{\text{خالص}}}{m} = \frac{۵}{۲} = ۲/۵\ \text{m/s}^۲$$

۴۵۸- گزینهٔ ۳ فقط عبارت «ت» نادرست است. نیروهای کنش و واکنش اصلاً برایند ندارند که برایند آن‌ها صفر باشد، چون به دو جسم مختلف وارد می‌شوند.

۴۵۹- گزینهٔ ۲ **گام اول:** سرعت اولیه و نهایی را برحسب متر بر ثانیه محاسبه می‌کنیم:

$$v_۱ = ۳۶\ \text{km/h} = ۳۶ \div ۳/۶\ \text{m/s} = ۱۰\ \text{m/s}$$
$$v_۲ = ۷۲\ \text{km/h} = ۷۲ \div ۳/۶\ \text{m/s} = ۲۰\ \text{m/s}$$

گام دوم: به کمک رابطهٔ مستقل از زمان، شتاب حرکت را محاسبه می‌کنیم:

$$v_۲^۲ - v_۱^۲ = ۲a\Delta x \Rightarrow ۲۰^۲ - ۱۰^۲ = ۲ \times a \times ۳۰۰ \Rightarrow ۴۰۰ - ۱۰۰ = ۶۰۰a \Rightarrow ۳۰۰ = ۶۰۰a \Rightarrow a = \frac{۳۰۰}{۶۰۰} = \frac{۱}{۲}\ \text{m/s}^۲$$

گام سوم: برایند نیروهای وارد بر جسم به کمک قانون دوم نیوتون برابر است با:

$$F = ma \Rightarrow F = ۱۲۰۰ \times \frac{۱}{۲} = ۶۰۰\ \text{N}$$

۴۶۰- گزینهٔ ۱ آویز که ابتدا با سرعت ثابت $۷۰\ \text{km/h}$ در حال حرکت بوده است، بر اساس قانون اول تمایل دارد وضعیت حرکت خود را حفظ کند؛ پس به سمت جلو منحرف می‌شود.

۴۶۱- گزینهٔ ۴ **گام اول:** سرعت جسم در لحظهٔ $t_۱ = ۲\ \text{s}$ برابر صفر است و در این لحظه جسم در مکان $x_۱ = -۸\ \text{m}$ قرار دارد. ۴ ثانیهٔ بعد (یعنی در لحظهٔ $t_۲ = ۶\ \text{s}$) متحرک به مکان $x_۲ = ۱۶\ \text{m}$ می‌رسد؛ یعنی در مدت $۲۴\ \text{m}$ ،$۴\ \text{s}$ جابه‌جا شده است:

$$\Delta x = \frac{۱}{۲}a(\Delta t)^۲ + v_۲\Delta t \Rightarrow ۲۴ = \frac{۱}{۲} \times a \times (۴)^۲ + ۰ \Rightarrow a = ۳\ \text{m/s}^۲$$

($v_۲$ سرعت متحرک در لحظهٔ $t = ۲\ \text{s}$ است.)

گام دوم: بنا بر قانون دوم نیوتون داریم:

$$F_{net} = ma = ۲/۵ \times ۳ \Rightarrow F_{net} = ۷/۵\ \text{N}$$

۴۶۲- گزینهٔ ۴ شتاب یک جسم از رابطهٔ $a = \frac{F}{m}$ به دست می‌آید؛ پس:

$$a_{\text{جسم اول}} = a_{\text{جسم دوم}} \Rightarrow \frac{F}{m} = \frac{۱/۲F}{m+۲} \Rightarrow \frac{۱}{m} = \frac{۱/۲}{m+۲} \Rightarrow m = ۱۰\ \text{kg}$$

۴۶۳- گزینهٔ ۱ چون جسم ساکن است، می‌توانیم بگوییم که **اندازهٔ هر یک از نیروها، برابر است با برایند دو نیروی دیگر**. با حذف نیروی $۱۵\ \text{N}$، اندازهٔ برایند دو نیروی ۲۰ نیوتونی و ۲۵ نیوتونی باید برابر با اندازهٔ نیروی حذف‌شده $(۱۵\ \text{N})$ باشد؛ پس داریم:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{۱۵}{۳} \Rightarrow a = ۵\ \text{m/s}^۲$$

۴۶۴- گزینهٔ ۴ شتاب تابعی از برایند نیروهای وارد بر جسم است. در این نمودار، مقدار شتاب ابتدا به صفر نزدیک و بعد زیاد شده؛ پس **برایند نیروهای وارد بر جسم ابتدا کاهش و بعد افزایش یافته است.**

۴۶۵- گزینهٔ ۳ درستی ۳ را که از قبل می‌دانید. در مورد نادرستی بقیهٔ گزینه‌ها باید بگوییم که سه کمیت **نیرو**، **شتاب** و **تغییرات سرعت** با هم، هم‌جهت هستند و جهت آن‌ها الزاماً با سرعت و راستای حرکت یکسان نیست.