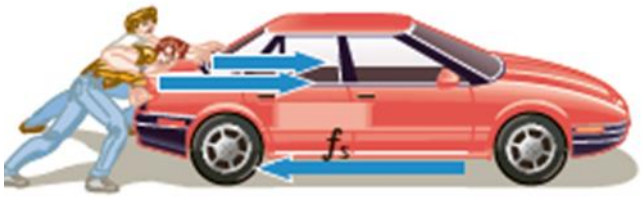
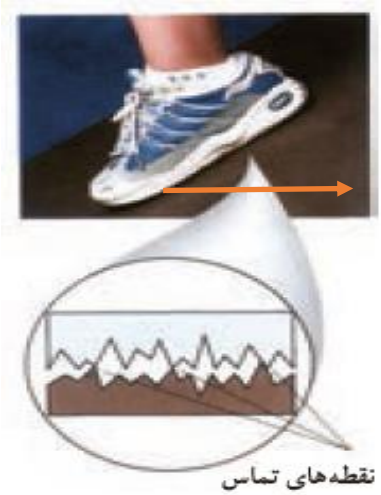
دینامیک ۲

۶) **نیروی اصطکاک** : وقتی تلاش می‌کنیم جسمی را روی سطحی به حرکت درآوریم، چه جسم حرکت کند و چه ساکن بماند، با مقاومتی روبه‌رو می‌شویم که به آن نیروی اصطکاک گویند.



شکل ۲ــ۹ نیروی اصطکاک ایستایی در خلاف جهت هل دادن به‌وجود آمده است.



شکل ۲ ــ۱۰

نیروی اصطکاک به دو دسته تقسیم می شود:

الف) اصطکاک ایستایی است و آن را با f_s نشان می‌دهند.

ب) نیروی اصطکاک جنبشی است و آن را با f_k نشان می‌دهند.

نیروی اصطکاک بین دو جسم به جنس سطح دو جسم، و زبری و نرمی آنها و... بستگی دارد؛

نیروی اصطکاک از نیروهای اتلافی است ولی توجه کنید . بدون اصطکاک نمی توان حرکت کرد و یا ایستاد.بدون اصطکاک واقعا سنگ روی سنگ بند نمی شود.

پرسش ۲ـ۷

الف) بر اساس قانون سوم نیوتون و آنچه از اصطکاک آموختید، توضیح دهید راه رفتن با شروع از حالت سکون چگونه انجام می‌شود؟

ب) چرا راه رفتن روی یک سطح سُر مانند سطح یخ به‌سختی ممکن است؟

کدام‌یک از گزینه‌های زیر در مورد نیروی اصطکاک درست نیست؟

۱) نیروی اصطکاک بین دو جسم به جنس دو جسم بستگی دارد.

۲) نیروی اصطکاک بین دو جسم به علت ناهمواری‌های محل تماس دو جسم ایجاد می‌شود.

۳) بدون اصطکاک می‌توان در یک مکان ایستاد.

۴) برای حرکت خودرو وجود اصطکاک لازم است.

خودرویی روی یک سطح افقی ساکن بوده و اصطکاک بین سطح جاده و چرخ‌های خودرو ناچیز است. اگر این خودرو را روشن کنیم، کدام‌یک از گزینه‌های زیر درست است؟

۱) خودرو به راحتی حرکت می‌کند.

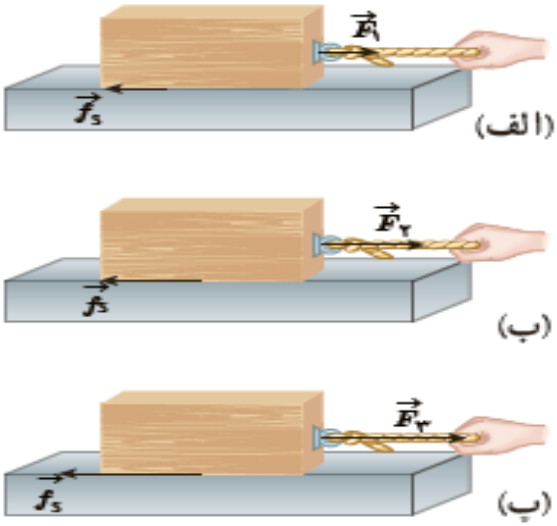
۲) خودرو با سرعت زیاد حرکت می‌کند.

۳) شتاب حرکت خودرو صفر است.

۴) خودرو تغییر مکان نمی‌دهد.

سوال) با این فرض که در تمامی حالات زیر جسم ساکن باشد . اندازه و جهت نیروی اصطکاک و نوع آن را تعیین کنید. نمودار نیروی اصطکاک بر حسب نیروی وارد بر جسم را رسم کنید.

شکل ۲ ــ ۱۱ جسم ساکن روی سطح افقی



شکل ۲ ــ ۱۲ با افزایش نیروی $\vec{F}$ ، نیروی اصطکاک ایستایی نیز افزایش می‌یابد تا اینکه به یک مقدار بیشینهٔ معیّن می‌رسد.

$$f_{s,max} = \mu_s F_N$$

$$f_s \leq \mu_s F_N$$

تمرین ۲ــ۴

اگر در شکل ۲ــ۱۲، جرم جسم ۴/۰kg و بزرگی نیروها F_1=۴/۰N ، F_2=۸/۰N و F_3=۱۶/۰N باشد،

الف) بزرگی نیروهای اصطکاک ایستایی در هر حالت چقدر است؟

ب) ضریب اصطکاک ایستایی را پیدا کنید.

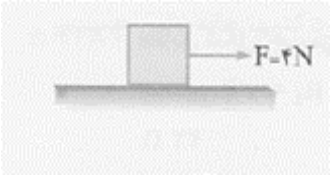
جسمی به جرم ۳ کیلوگرم روی سطح افقی قرار دارد. اگر $\mu_s = ۰/۴$ باشد، کدام‌یک از گزینه‌های زیر می‌تواند مشخص‌کنندهٔ نیروی اصطکاک ایستایی باشد؟ $(g = ۱۰N/kg)$

۱) ۱۸ ۲) ۱۴/۲۵ ۳) ۱۰ ۴) ۱۲/۵

جسمی به جرم ۵ کیلوگرم روی یک سطح افقی قرار گرفته است و نیروی افقی $F = ۴N$ بر آن وارد می‌شود. نیروی اصطکاک وارد بر جسم چند نیوتون است؟ $(\mu_s = ۰/۲۵ ,\ g = ۹/۸m/s^۲)$

۱) ۱۲/۲۵ ۲) ۸/۲۵

۳) ۱۰ ۴) ۴



ب) نیروی اصطکاک جنبشی : وقتی جسمی روی سطحی می‌لغزد از طرف سطح بر جسم، نیروی اصطکاک جنبشی وارد می‌شود که موازی با سطح و در خلاف جهت لغزش جسم است. آزمایش نشان می‌دهد که اندازهٔ نیروی اصطکاک جنبشی متناسب با اندازهٔ نیروی عمودی سطح است.

$$f_k = \mu_k F_N \qquad \text{(نیروی اصطکاک جنبشی)} \qquad (۲ـ۶)$$

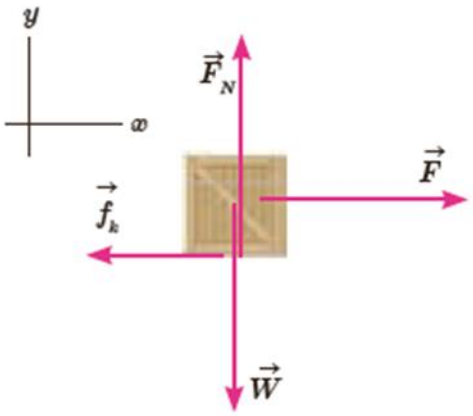
در این رابطه μ_k ضریب اصطکاک جنبشی نام دارد.

تجربه و آزمایش‌های گوناگون نشان می‌دهد که ضریب اصطکاک جنبشی مانند ضریب اصطکاک ایستایی به عامل‌هایی مانند جنس سطح تماس دو جسم، میزان صافی و زبری آنها و . . . بستگی دارد.

شکل مقابل شخصی را نشان می‌دهد که در حال کشیدن یک جعبهٔ ۷۵/۰ کیلوگرمی با نیروی ۳۰۹N روی سطح افقی است. نیرویی که شخص به جعبه وارد می‌کند افقی و جعبه در حال حرکت است. اگر ضریب اصطکاک جنبشی بین سطح و جعبه ۰/۴۰۰ باشد،

الف) نیروی اصطکاک جنبشی وارد به جعبه چقدر است؟

ب) شتاب جعبه در این حالت چقدر است؟ $(g = ۹/۸۰ \text{N/kg})$



پاسخ : الف) نیروهای وارد بر جعبه را رسم می‌کنیم. چون جسم در امتداد قائم شتاب ندارد از قانون دوم نیوتون نتیجه می‌شود که برایند نیروهای وارد بر جسم در راستای قائم صفر است.

$$F_N - W = 0 \Rightarrow F_N = W = mg = (75/0\,\text{kg})(9/80\,\frac{\text{N}}{\text{kg}}) = 735\,\text{N}$$

$$f_k = \mu_k F_N \Rightarrow f_k = 0/400 \times 735\,\text{N} \Rightarrow f_k = 294\,\text{N}$$

ب) برایند نیروهای افقی وارد بر جسم برابر با حاصل‌ضرب جرم در شتاب است.

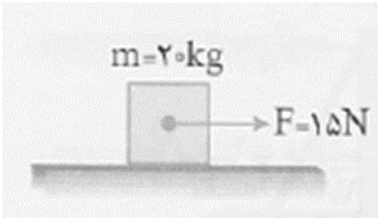
$$F - f_k = ma \Rightarrow a = \frac{F - f_k}{m} \Rightarrow a = \frac{309\,\text{N} - 294\,\text{N}}{75/0\,\text{kg}} = 0/20\,\text{m/s}^2$$

تمرین ۲ـ۵

در مثال قبل اگر ضریب اصطکاک ایستایی بین جعبه و زمین ۰/۶۰۰ و جسم در ابتدا ساکن باشد، حداقل نیروی افقی لازم برای به‌حرکت درآوردن جعبه چقدر است؟

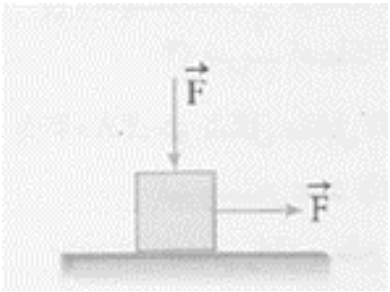
. در شکل مقابل، نیروی اصطکاک وارد بر جسم چند نیوتون است؟ $(\mu_s = ۰/۴ ، \mu_k = ۰/۲ ، g = ۱۰N/kg)$

۱) ۱۵
۲) ۳۰
۳) ۸۰
۴) ۴۰



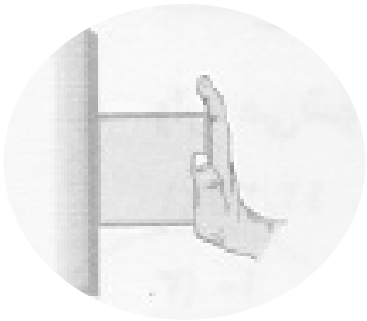
. در شکل مقابل وزن جسم برابر ۲۰ نیوتون، هر یک از نیروهای F برابر ۵ نیوتون و جسم در آستانهٔ حرکت است. ضریب اصطکاک بین جسم و سطح کدام است؟

۱) ۰/۱۵
۲) ۰/۲
۳) ۰/۲۵
۴) ۰/۲۸



. مطابق شکل، جسمی به جرم ۲/۵kg را با نیروی افقی ۸۰ نیوتون به دیواری با ضریب اصطکاک ایستایی $\mu_s = ۰/۴$ فشار می‌دهیم. نیروی اصطکاک وارد بر جسم چند نیوتون است؟ $(g = ۱۰N/kg)$

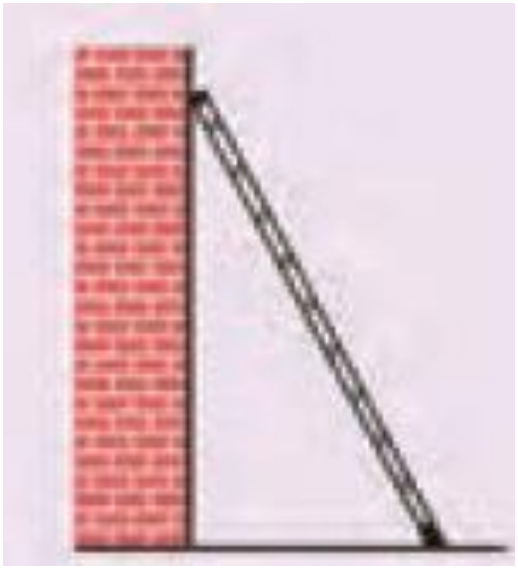
۱) ۳۲
۲) ۲۵
۳) ۷
۴) ۵۷

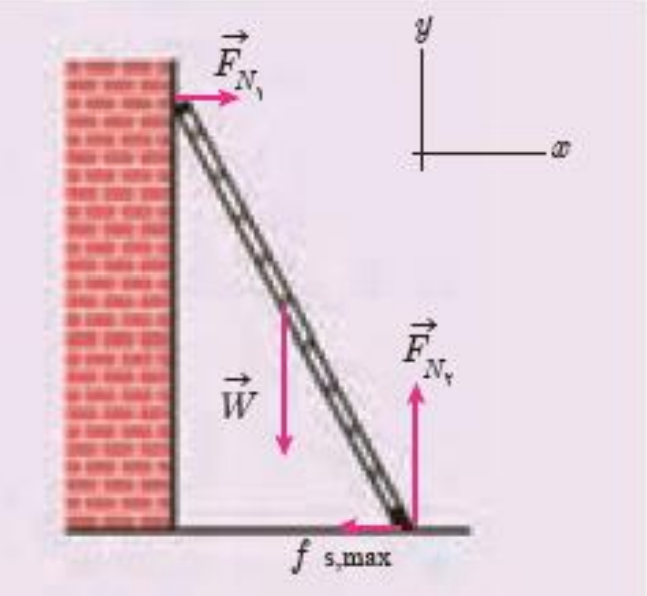


در شکل روبه‌رو نردبانی به جرم ۲۰/۰ kg به دیوار قائم بدون اصطکاکی تکیه داده شده است. ضریب اصطکاک ایستایی بین زمین و پای نردبان ۰/۴۶۰ است. در آستانهٔ سُرخوردن نردبان،

الف) سطح زمین به نردبان چه نیرویی وارد می کند؟

ب) چه نیرویی از دیوار به نردبان وارد می‌شود؟





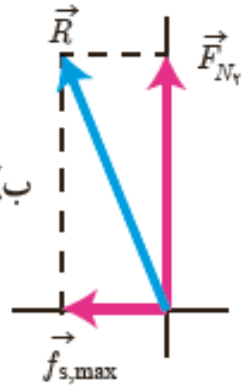
در آستانهٔ حرکت، نردبان همچنان در حال تعادل است. بنابراین نیروی خالص در راستای قائم و افقی صفر است.

$$F_{N_2} - W = 0 \Rightarrow F_{N_2} = W = mg = (20/0\,\text{kg})(9/80\,\text{N/kg}) = 196\,\text{N}$$

$$f_{s,max} = \mu_s F_{N_2} = (0/460)\times(196\,\text{N}) = 90/2\,\text{N} \Rightarrow F_{N_1} = 90/2\,\text{N}$$

از طرف سطح زمین بر نردبان دو نیروی عمودی F_{N_2} و افقی $f_{s,max}$ وارد می‌شود. بنابراین برایند این دو نیرو که آن را با $\vec{R}$ نشان می‌دهیم، نیرویی است که سطح زمین بر نردبان وارد می‌کند :

$$\vec{R} = \vec{F}_{N_2} + \vec{f}_{s,max}$$

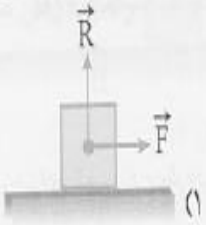


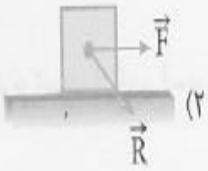
$$R = \sqrt{F_{N_2}^2 + f_{s,max}^2} = \sqrt{(196\,\text{N})^2 + (90/2\,\text{N})^2} = 216\,\text{N}$$

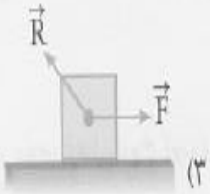
ب) برایند نیروهای افقی وارد بر نردبان صفر است، پس :

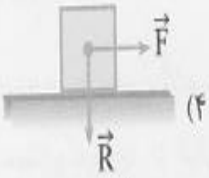
$$F_{N_1} - f_{s,max} = 0 \Rightarrow F_{N_1} = f_{s,max} = 90/2\,\text{N}$$

جسمی به جرم m روی سطح افقی ساکن است. نیروی افقی F بر آن اثر می‌کند و جسم ساکن باقی می‌ماند. کدام‌یک از گزینه‌های زیر شکل و نیروی واکنش سطح را درست نشان می‌دهد؟

۱) 

۲) 

۳) 

۴) 

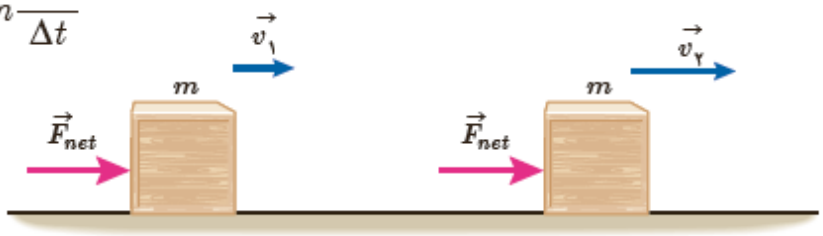
جسمی به جرم ۶kg روی سطح افقی ساکن است. نیروی افقی ۸۰N بر آن اثر می‌کند، اما جسم وضعیت اولیهٔ خود را تغییر نمی‌دهد. نیروی واکنش سطح چند نیوتون است؟ $(g = 10N/kg)$

۱) ۶۰ ۲) ۸۰ ۳) ۱۰۰ ۴) ۲۰

تکانه و قانون دوم نیوتون

فرض کنید سرعت جسمی به جرم m تحت تأثیر نیروی خالص ثابت $\vec{F}_{net}$ در بازهٔ زمانی Δt از $\vec{v}_1$ به $\vec{v}_2$ برسد. در این صورت قانون دوم نیوتون به‌صورت زیر درمی‌آید :

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} = m\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$



شکل ۲ ــ ۱۸ سرعت جسم تحت‌تأثیرنیروی خالص ثابت $\vec{F}_{net}$ از $\vec{v}_1$ به $\vec{v}_2$ می‌رسد.

با فرض ثابت بودن جرم جسم (m) می‌توانیم جرم را در کنار سرعت $(\vec{v})$ قرار دهیم.

$$\vec{F}_{net} = \frac{\Delta(m\vec{v})}{\Delta t}$$

حاصل‌ضرب جرم جسم (m) در سرعت آن $(\vec{v})$، تکانهٔ جسم نامیده می‌شود و آن را با $\vec{p}$ نشان می‌دهیم.

$$\vec{p} = m\vec{v} \qquad \text{(تکانهٔ جسم)} \qquad (۸_۲)$$

تکانه کمیتی برداری است زیرا سرعت، یک کمیت برداری و جرم، یک کمیت نرده‌ای است. جهت تکانه همان جهت سرعت است. یکای SI تکانه kg.m/s است. با توجه به تعریف تکانه، قانون دوم نیوتون برای نیروی ثابت را می‌توان چنین نوشت :

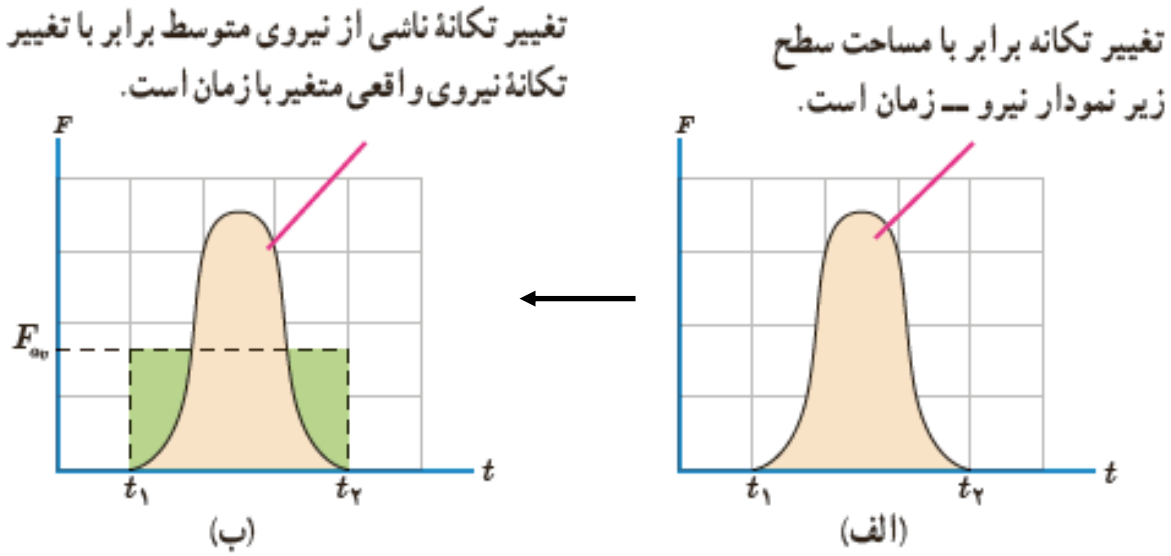
$$\vec{F}_{net} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \qquad \text{(قانون دوم نیوتون برحسب تکانه برای نیروی ثابت)} \qquad (۹_۲)$$

یعنی نیروی خالص وارد بر جسم برابر با تغییر تکانهٔ جسم تقسیم بر زمان تغییر آن است. همچنین از این رابطه نتیجه می‌گیریم که تغییر تکانه برابر با حاصل‌ضرب نیرو در مدت زمان تأثیر آن است.

$$\Delta \vec{p} = \vec{F}_{net}\,\Delta t \qquad (۱۰_۲)$$

نکته ۱) شیب نمودار p-t برابر نیروی وارد بر جسم است.

نکته ۲) مساحت زیر نمودار F-t برابر تغییرات اندازه حرکت است.



مثال ۲ــ۱۲

شکل روبه‌رو صحنه‌ای از یک آزمون تصادف را نشان می‌دهد که در آن خودرویی به جرم ۱۲۰۰kg به دیواری برخورد کرده و سپس برمی‌گردد. اگر تندی اولیه و نهایی خودرو به ترتیب ۵۴/۰ km/h و ۹/۰۰ km/h باشد و تصادف ۰/۱۵۰s طول بکشد،

الف) تغییر تکانهٔ خودرو را پیدا کنید.

ب) اندازه و جهت نیروی متوسط وارد بر خودرو را تعیین کنید.

پاسخ : الف) جهت محور x را به طرف راست انتخاب می‌کنیم و تکانه‌ها را با استفاده از رابطهٔ ۲ــ۸ به‌دست می‌آوریم.

$$v_1 = +54/0\,\text{km/h} = +15/0\,\text{m/s} \quad ,\quad v_2 = -9/00\,\text{km/h} = -2/50\,\text{m/s}$$

$$p_1 = mv_1 = (1200\,\text{kg})(+15/0\,\text{m/s}) = +1/80\times10^4\,\text{kg.m/s} = +18/0\times10^3\,\text{kg.m/s}$$

$$p_2 = mv_2 = (1200\,\text{kg})(-2/50\,\text{m/s}) = -3/0\times10^3\,\text{kg.m/s}$$

$$\Delta p = (-3/0\times10^3\,\text{kg.m/s}) - (+18/0\times10^3\,\text{kg.m/s}) = -2/10\times10^4\,\text{kg.m/s}$$

ب) نیروی متوسط وارد بر اتومبیل با استفاده از رابطهٔ ۲ــ۱۱ برابر است با :

$$F_{av} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{-2/1\times10^4\,\text{kg.m/s}}{0/150\,\text{s}} = -1/4\times10^5\,\text{N}$$

یعنی نیروی خالص متوسطی که از دیوار به خودرو وارد می‌شود در خلاف جهت محور x (یعنی به طرف چپ) است. توجه داریم اگر خودرو پس از برخورد، برنگردد نیروی متوسط وارد بر خودرو کوچک‌تر از مقداری است که اکنون به‌دست آوردیم.

اگر m، v و p به ترتیب جرم، سرعت و تکانهٔ یک جسم باشد، کدام رابطه نشان‌دهندهٔ انرژی جنبشی آن جسم است؟

۱) $\frac{mv}{2p}$ ۲) $\frac{pv}{2m}$ ۳) $\frac{p^2}{2m}$ ۴) $\frac{mp^2}{2}$

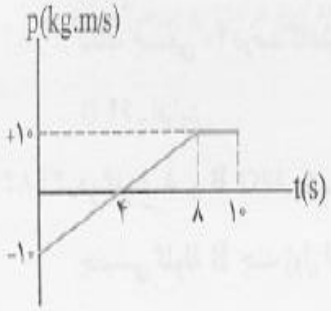
اگر جرم جسم B، $\frac{5}{8}$ جرم جسم A و تکانه جسم A، $\frac{4}{3}$ تکانه جسم B باشد، نسبت انرژی جنبشی جسم A به انرژی جنبشی جسم B، کدام است؟

۱) $\frac{10}{9}$ ۲) $\frac{9}{10}$ ۳) $\frac{6}{5}$ ۴) $\frac{5}{6}$

گلوله ای به جرمm با سرعت Vبه دیواری برخورد کرده و با همان سرعت باز می گردد.اندازه تغییر اندازه حرکت کدام است؟

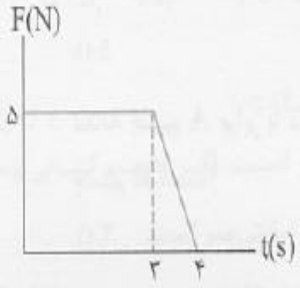
۱) صفر ۲) mV ۳) ۲mV ۴) $mV\sqrt{2}$

. نمودار تکانه ـ زمان جسمی به جرم ۵kg، مطابق شکل است. کار برایند نیروهای وارد بر جسم در مدت زمان نشان داده‌شده چند ژول است؟



۱) ۲۰
۲) ۱۰
۳) ۵
۴) صفر

نمودار نیرو بر حسب زمان، برای جسمی به جرم ۲/۵kg مطابق شکل است. اگر تندی اولیهٔ جسم برابر ۱۰m/s و در جهت مثبت محور xها باشد، سرعت متحرک در لحظهٔ t = ۴s چند m/s است؟



۱) ۳۵
۲) ۱۷
۳) ۲۵
۴) ۷