

هوالمعلل

آزول فزفك هنرستات

شاآه‌ه‌ف فنى و حرفه‌اى و كاردانش

ءورة ءوم متوسطه

فصل ءوم

مكانيك

مکانیک یکی از قدیمی‌ترین شاخه‌های فیزیک است که با اجسام در حال سکون یا در حال حرکت و همچنین شرایط سکون و حرکت آن‌ها تحت تأثیر نیروها سروکار دارد.

درواقع مکانیک توضیح می‌دهد که چرا اجسام حرکت می‌کنند و یا اینکه جسم در وضعیت معینی چگونه حرکت خواهد کرد و این حرکت را چگونه می‌توان توصیف کرد.

علم مکانیک به دو بخش سینماتیک و دینامیک تقسیم می‌شود.

در سینماتیک به توصیف حرکت اجسام (مفاهیم مکان، سرعت، شتاب و مسیر آن‌ها) می‌پردازیم

در دینامیک به نیروهایی که باعث حرکت یا تغییر شکل و اندازه جسم شده‌اند (مفاهیم نیرو، جرم و قوانین حاکم بر حرکت) می‌پردازیم.

حرکت:

مکان اولیه: X_i	مکان پایانی: X_f	$\Delta X = X_f - X_i$	دلتا (تغییرات)
زمان اولیه: t_i	زمان پایانی: t_f	$\Delta t = t_f - t_i$	

**** بردار مکان:** برداری که از مبدأ مختصات به مکان جسم رسم شده است را بردار مکان جسم می‌نامیم. طول این بردار، فاصله جسم تا مبدأ را مشخص می‌کند.

**** بردار جابه‌جایی:** برداری که نقطه شروع حرکت هر جسم را به نقطه پایان حرکت آن وصل می‌کند، بردار جابه‌جایی آن جسم می‌گویند.

**** سرعت متوسط حرکت:** به حاصل تقسیم جابه‌جایی به بازه زمانی که این جابه‌جایی اتفاق افتاده است سرعت متوسط حرکت می‌گوییم. آن را با $\bar{V}$ نمایش داده و یکای اندازه‌گیری آن $\frac{m}{s}$ (متر بر ثانیه) است.

$$\bar{V} = \frac{X_f - X_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta X}{\Delta t}$$

**** نیرو:** نیرو کمیتی برداری است که با نماد $\vec{F}$ نمایش داده می‌شود. و یکای اندازه‌گیری آن N (نیوتن) است.

▪ در این فصل هرگاه از کلمه نیرو استفاده می‌کنیم منظورمان برآیند نیروهای وارد بر جسم است.

به‌طور کلی هرگاه جسم ساکن باشد آن را در حال «تعادل استاتیکی» می‌نامیم.

و هرگاه با سرعت ثابت در حال حرکت باشد آن را در حال «تعادل دینامیکی» می‌نامیم. در هر دو نوع تعادل، برآیند نیروهای

وارد بر جسم صفر است. در نتیجه شرط تعادل استاتیکی و دینامیکی به‌صورت مقابل است: $\vec{F}_T = 0$

T: به معنی جمع برداری یا همان برآیند است.

• جمع برداری نیروهای وارد شده به جسم در حال تعادل، برابر صفر است.

قانون اول نیوتون

هر جسمی حالت سکون و یا حرکت با سرعت ثابت خود را حفظ خواهد کرد مگر اینکه تحت تأثیر نیروی خارجی قرار بگیرد.

نکته: سرعت یک کمیت برداری است، وقتی می‌گوییم سرعت جسم ثابت است، یعنی هم اندازه و هم جهت آن ثابت است.

**** لختی (اینرسی):** این ویژگی اجسام را که در مقابل تغییر سرعت از خود مقاومت نشان می‌دهند، لختی (اینرسی) می‌نامند.

حرکت یکنواخت: در حرکت یکنواخت اندازه و جهت بردار سرعت لحظه‌ای در تمام لحظات یکسان است. سرعت لحظه‌ای سرعت

جسم در هر لحظه است. در این نوع حرکت، اندازه سرعت لحظه‌ای و متوسط برابر است.

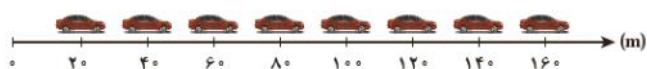
• هر اندازه جرم یک جسم بیشتر باشد، لختی آن نیز بیشتر خواهد بود.

معادله مکان زمان برای حرکت یکنواخت: X_0 : مکان اولیه $X = Vt + X_0$

نکات مهم حرکت یکنواخت:

- فاصله متحرک از مبدأ مکان (X) از رابطه $X = Vt + X_0$ به دست می‌آید.
- در این رابطه مکان بر حسب متر (m)، زمان بر حسب (s) و سرعت بر حسب $(\frac{m}{s})$ جاگذاری می‌شود.

نمودار زیر، مسیر حرکت خودرویی است که با سرعت ثابت در یک مسیر مستقیم در حال حرکت است. اگر فاصله زمانی بین هر دو نقطه یک ثانیه باشد:



الف) معادله مکان - زمان حرکت را به دست آورید.

ب) با توجه به معادله مکان - زمان محاسبه کنید که خودرو چند ثانیه پس از شروع حرکت به اندازه ۲۰۰ متر جابه‌جا شده است.

پاسخ: با توجه به اطلاعات نمودار مسیر حرکت مکان اولیه خودرو ۲۰ متری مبدأ بوده است، و می‌توان سرعت متوسط (که برابر با سرعت لحظه‌ای می‌باشد) آن را محاسبه کرد:

$$\left. \begin{matrix} t_i = 0s, x_i = 20m \\ t_f = 2s, x_f = 60m \end{matrix} \right\} \Rightarrow \bar{v} = v = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{60m - 20m}{2s - 0} = 20 \frac{m}{s}$$

با توجه به معادله ۶-۲ خواهیم داشت:

$$\left. \begin{matrix} x_o = 20m \\ v = 20 \frac{m}{s} \end{matrix} \right\} \Rightarrow x = vt + x_o \Rightarrow x = 20t + 20$$

ب) با توجه به معادله ۱-۲ می‌توان نوشت:

$$\Delta x = x_f - x_i \Rightarrow 200m = x_f - 20m \Rightarrow x_f = 220m$$

$$x = vt + x_o \Rightarrow 220m = 20 \frac{m}{s} t + 20m \Rightarrow t = 10s$$

حرکت غیر یکنواخت:

حرکتی که با تغییر سرعت همراه باشد مثل حرکت خودرو بعد از ترمز. اگر سرعت در طول زمان افزایش یابد **حرکت تند شونده** و اگر کاهش یابد **حرکت کند شونده** است.

**** شتاب :** تغییر سرعت در یک ثانیه را شتاب متوسط می‌نامیم، پس اگر تغییر سرعت را به زمان تقسیم کنیم شتاب متوسط به

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

دست می‌آید. شتاب کمیتی برداری است.

نکات:

- نیرو باعث تغییر وضعیت حرکت جسم و بردار سرعت (اندازه و جهت) آن می‌شود.
- شتاب کمیتی برداری است و یکای اندازه گیری آن متر بر مجذور ثانیه ($\frac{m}{s^2}$) است.

قانون دوم نیوتون

اگر به جسمی نیروی خارجی وارد شود شتابی می‌گیرد که اندازه آن با اندازه نیرو، رابطه مستقیم و با جرم جسم رابطه عکس دارد.

$$F = ma \quad \text{یا} \quad a = \frac{F}{m}$$

نکته: هرگاه بردار نیروی برآیند در خلاف بردار سرعت جسم متحرکی باشد، سرعت آن را کاهش داده و حرکت آن کند شونده خواهد بود و هرگاه بردار نیروی برآیند هم‌جهت با بردار سرعت به جسمی وارد شود، حرکت تند شونده خواهد بود.



ب) متوقف کردن توپ توسط دروازه‌بان فوتبال یک حرکت کند شونده است.



الف) توپ فوتبال در لحظه شوت کردن توسط بازیکن حرکتش تندشونده است.

شتاب لحظه‌ای: همان شتاب جسم در یک لحظه معین است. که آن را با a نشان می‌دهیم.

$$a = \bar{a} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

معادله سرعت-زمان در حرکت با شتاب ثابت:

$$V = at + V_0$$

مثال:



شکل روبه‌رو بازی چوگان ایرانی را نشان می‌دهد، اگر توپ چوگان حرکت خود را با سرعت 4 m/s و با شتاب ثابت 10 m/s^2 آغاز کرده باشد، سرعت آن 2 s پس از شروع حرکت چقدر خواهد شد؟ برآیند نیروهای وارد بر این توپ 127 g ، چقدر است؟

پاسخ:

$$v = v_0 + at$$

$$\left. \begin{array}{l} v_0 = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ a = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \end{array} \right\} \Rightarrow v = v_0 + at \Rightarrow v = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}} + \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (2\text{s}) = 24 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$m = 127 \text{ g} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 127 \times 10^{-3} \text{ kg} = 1/27 \times 10^{-1} \text{ kg}$$

$$F = ma = 1/27 \times 10^{-1} \text{ kg} \times 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1/27 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 1/27 \text{ N}$$

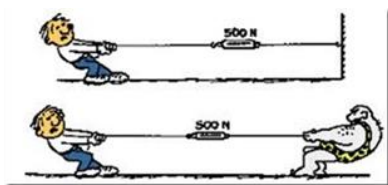
قانون سوم نیوتون

هرگاه یک جسم نیرویی به جسم دیگر وارد کند آن جسم نیز نیرویی به همان اندازه ولی در خلاف جهت به جسم اول وارد خواهد کرد.

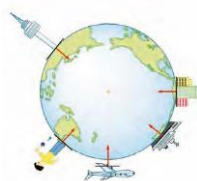
نیروهای کنش و واکنش:

نکات:

- انتخاب یک نیرو به‌عنوان کنش و دیگری به‌عنوان واکنش کاملاً اختیاری است.
- نیروهای کنش و واکنش به‌طور هم‌زمان به وجود می‌آیند و هم‌زمان نیز از بین می‌روند.
- نیروهای کنش و واکنش بر دو جسم مختلف اثر می‌کنند در نتیجه اثر یکدیگر را خنثی نمی‌کنند.



۱- نیروی گرانش و نیروی وزن:

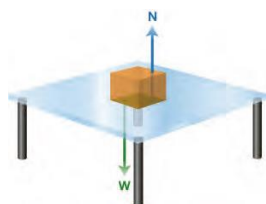


نیروی جاذبه‌ای را که به وسیله زمین بر اشیا وارد می‌شود «نیروی گرانشی» زمین می‌نامیم. این نیرو به سمت مرکز زمین و بر سطح زمین عمود است. اندازه این نیرو را وزن جسم می‌نامیم و آن را با نماد $W = mg$ نشان می‌دهیم.

کره زمین اجسام را با شتاب ثابت به سمت مرکز خود جذب می‌کند، مقدار این شتاب در نزدیکی سطح زمین تقریباً برابر $9.8 \frac{N}{kg}$ است. این شتاب را با نماد g نمایش می‌دهند.

با قرار دادن شتاب گرانشی g و نیروی وزن W در رابطه $a = \frac{F}{m}$ خواهیم داشت: $g = \frac{W}{m} \rightarrow W = mg$

۲- نیروی عمودی تکیه‌گاه:



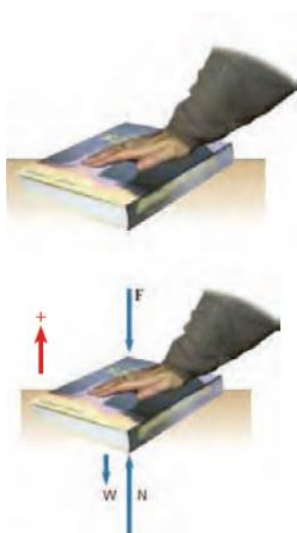
جعبه‌ای را که روی میز قرار دارد در نظر بگیرید. این جعبه در حال تعادل است (برآیند نیروهای وارد بر آن صفر است). نیرویی که به آن وارد می‌شود تا اثر نیروی وزن را خنثی کند نیروی عمودی تکیه‌گاه است که میز به‌طور عمود به جعبه وارد می‌کند.

$$\vec{F}_T = 0 \Rightarrow \vec{N} + \vec{W} = 0 \quad (\text{برآیند نیروهای وارد بر جعبه})$$

$$N + (-W) = 0 \Rightarrow N = W = mg$$

- در این حالت اندازه نیروی وزن و نیروی عمودی تکیه‌گاه باهم برابر هستند.

مثال:



مطابق شکل کتاب روی میز قرار دارد و شخصی با دست خود به کتاب نیروی عمودی وارد می‌کند. نیروی عمودی تکیه‌گاه را در این حالت محاسبه کنید.

پاسخ: نیروهای وارد شده بر کتاب در شکل نمایش داده شده‌اند. F نیرویی است که دست شخص به‌طور عمودی بر کتاب وارد می‌کند. N نیروی عمودی‌ای است که تکیه‌گاه (میز) بر کتاب وارد می‌کند. W نیروی وزن کتاب است که از طرف زمین بر کتاب وارد می‌شود.

$$\vec{F}_T = 0 \Rightarrow \vec{N} + \vec{W} = 0$$

$$\Rightarrow N + (-F) + (-W) = 0 \Rightarrow N = F + W$$

در این حالت، اندازه نیروی عمودی تکیه‌گاه از نیروی گرانشی بیشتر است.

۳- نیروی اصطکاک:

این نیرو معمولاً با سطح‌هایی که روی هم مالش داده می‌شوند موازی است. در واقع نیروهای اصطکاک هستند که به ما امکان حرکت می‌دهند و چرخ‌های خودروها با کمک همین نیرو لیز نمی‌خورد و خودرو حرکت می‌کند.

****نیروی اصطکاک :** اگر جسمی بخواهد روی سطحی حرکت کند همواره سطح در مقابل حرکت آن مقاومت نشان می‌دهد. به این مقاومت سطح در برابر حرکت جسم نیروی اصطکاک گفته می‌شود.

نیروی اصطکاک } ایستایی
جنشی

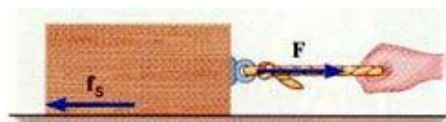


برخلاف تصور اولیه، نیروی اصطکاک حتی موقعی که جسمی ساکن است می‌تواند وجود داشته باشد. در شکل مقابل، باربری را ملاحظه کنید که آماده می‌شود تا جعبه را روی سطح زمین به سمت جلو بکشد.

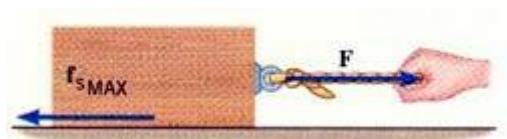
الف) جعبه روی سطح افقی قرار دارد ولی باربر آن را نمی‌کشد. در این حالت فقط نیروی وزن و نیروی عمودی تکیه‌گاه به جعبه وارد می‌شود که به علت سکون جعبه نیروی برآیند صفر ($\sum F_y = 0$) است و خبری از نیروی اصطکاک نیست.



ب) باربر به کمک طناب شروع به کشیدن جعبه می‌کند اما نیروی وارده کم بوده و در نتیجه جعبه حرکتی نمی‌کند. حال اگر باز **قانون اول نیوتن** را برای جعبه پیاده کنیم کماکان دو نیروی وزن و نیروی عمودی تکیه‌گاه همدیگر را خنثی کرده ولیکن در این حالت حتماً بایستی نیرویی به موازات سطح ولی در خلاف جهت وجود داشته باشد که نیروی جلوبرنده باربر را خنثی کند، این نیرو همان نیروی اصطکاک ایستایی است. اما این بار دیگر صفر نیست.



ج) باربر برای حرکت جعبه (نیرو) تلاش خود را زیاد و زیادتر می‌کند ولی جعبه شروع به حرکت نکرده، پس در نتیجه اصطکاک ایستایی پایه‌پای نیروی جلوبرنده زیاد و زیادتر می‌شود. می‌بینیم که این خاصیت نیروی اصطکاک ایستایی دقیقاً مشابه نیروی عمودی تکیه‌گاه است که رابطه مشخصی ندارد.



(د) و بالاخره باربر آن قدر نیروی خود را زیاد می کند که اصطلاحاً جعبه در آستانه حرکت قرار می گیرد به صورتی که با یک تکان (نیروی) بسیار جزئی جعبه شروع به حرکت می کند به این نیروی اصطکاک بیشینه یا $f_{s \max}$ می گویند.

نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه



نکته : از آنجایی که تا قبل از آستانه حرکت نیرو همواره در حال تغییر است رابطه ای برای محاسبه $f_{s \max}$ وجود ندارد و روش یافتن f_s استفاده از قانون اول نیوتن است.

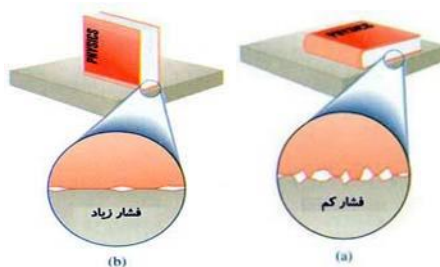
اما آزمایش ها نشان می دهد که جسم در آستانه حرکت نیروی اصطکاک متناسب با مقدار نیروی عمودی تکیه گاه از خود بروز می دهد که مقدار آن از رابطه زیر به دست می آید.

$$f_{s \max} = \mu_s \cdot N$$

در این رابطه μ_s ، ضریب اصطکاک ایستایی نام دارد که بسته به جنس سطح تماس دو جسم مقدار آن برای هر سطحی پس از محاسبه به عنوان یک مقدار ثابت در نظر گرفته می شود با این حساب می توانیم بگوییم مقدار نیروی اصطکاک تا قبل از شروع حرکت بسته به نیروی وارده می تواند مقادیر زیر را به خود بگیرد.

$$0 \leq f_s \leq f_{s \max} = \mu_s \cdot N$$

در تصویر زیر اثر فشار بر سطح در مقدار نیروی اصطکاک به نمایش درآمده است.



همان طور که ملاحظه می کنید با افزایش فشار نقاط تماسی بین دو جسم نیروی مقاومت زیاد می شود.

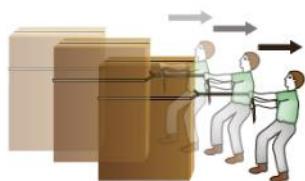
نیروی اصطکاک جنبشی:

هنگامی که جسمی بر روی سطحی شروع به لغزش کند، نیروی اصطکاک (که ثابت و در خلاف جهت حرکت است) به جسم وارد شده که به آن نیروی اصطکاک جنبشی گفته می شود. مقدار آن از رابطه روبرو قابل محاسبه است:

$$f_{\mu} = \mu_k \cdot N$$

μ_k : ضریبی است که با ضرب آن در نیروی عمودی تکیه گاه مقدار نیروی اصطکاک جنبشی محاسبه می شود و به آن ضریب اصطکاک جنبشی گفته می شود.

مقادیر μ_s و μ_k به ویژگی سطح هایی بستگی دارند که روی هم مالش داده می شوند و از مساحت سطح هایی که روی هم مالش داده می شوند مستقل هستند و در حالت مقدار μ_k از μ_s کوچک تر است.



اگر یک جعبه چوبی به جرم ۱۲ کیلوگرم را با نیروی افقی ۳۰ نیوتن و با سرعت ثابت روی زمین بکشیم ضریب اصطکاک جنبشی بین جعبه و زمین چه اندازه خواهد بود؟

پاسخ: همان طور که در متن مثال آمده است، جعبه با سرعت ثابت حرکت می کند، پس در حال تعادل دینامیکی است. و برآیند نیروهای وارد بر آن صفر خواهد بود.

$$F_{T_y} = N - W = N - mg = 0 \Rightarrow N = mg = 12 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 117.6 \times 10^3 \text{ N}$$

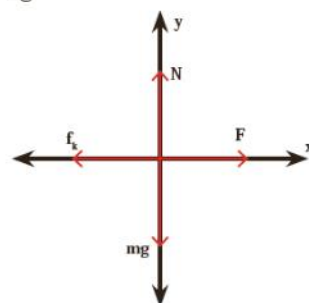
$$f_k = \mu_k N \quad (1)$$

$$F_{T_x} = F - f_k = 0 \Rightarrow F = f_k \quad (2)$$

$$1, 2 \Rightarrow F = \mu_k N \Rightarrow \mu_k = \frac{F}{N} = \frac{30 \text{ N}}{117.6 \text{ N}} = 0.25$$

F_{T_x} برآیند نیروها روی محور x ها:

F_{T_y} برآیند نیروها روی محور y ها:



نمودار جسم آزاد

پاسخ پرسش های پایان فصل

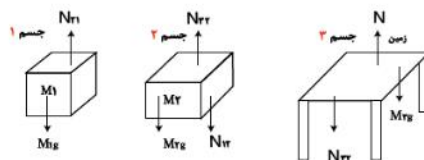
۱. الف) دنده B سریع تر است چون شیب خط آن بزرگ تر است.

ب) دو دنده به هم رسیده و از کنار هم عبور کرده اند.

۲. الف) در بازه های زمانی: صفر تا t_1 ، t_1 تا t_2 و t_2 تا t_3 در حال دور شدن از مبدأ

است. ب) دوبار در لحظات t_1 و t_2 ج) در جهت محورها بوده است.

۳.



$$1- N_{11} = M_1 g \quad 2- N_{12} = M_2 g + N_{11} \quad 3- N_{23} = N_{12} + M_3 g$$

$$2- N_{11} = N_{12} \quad N_{22} = N_{33}$$

$$1, 2 \Rightarrow N_{12} = M_2 g + M_1 g = (M_1 + M_2) g$$

$$2, 3 \Rightarrow N_{23} = (M_2 + M_3) g + M_1 g = (M_1 + M_2 + M_3) g$$

$$N_{23} > N_{12} > N_{11}$$

۴. نیروی وارد شده بر هردو طبق قانون دوم نیوتن باهم برابر است. این سؤال برای استخراج کج فهمی احتمالی هنجویان در مورد قانون سوم نیوتن طرح شده است.

۵. نیروهای کنش و واکنش هم جنس و هم راستا و خلاف جهت هستند. به لحاظ اندازه هم با هم برابرند؛ ولی به یک جسم وارد نمی شوند که برآیند صفر داشته باشند.

پاسخ به مسئله‌های پایان فصل

۱. این مسئله مربوط به حرکت با سرعت ثابت است، اتومبیل اول (شما) را با شماره ۱ و اتومبیل دوم (دوستان) را با شماره ۲ نام‌گذاری می‌کنیم، مدت زمان مسافرت برای هر دو را محاسبه کرده و پس از آن اختلاف زمان را محاسبه می‌کنیم. اختلاف زمان همان مدتی است که دوستان صبر کرده تا شما برسید.

$$V = \bar{V} = \frac{\Delta X}{\Delta t} \Rightarrow \begin{cases} v_1 = \frac{\Delta X_1}{\Delta t_1} \Rightarrow \Delta t_1 = \frac{\Delta X_1}{v_1} = \frac{50}{90} = \frac{5}{9} \text{ h} \\ v_2 = \frac{\Delta X_2}{\Delta t_2} \Rightarrow \Delta t_2 = \frac{\Delta X_2}{v_2} = \frac{50}{90} = \frac{10}{18} \text{ h} \end{cases}$$

و برای مدت زمان انتظار خواهیم داشت:

۲. حرکت با سرعت ثابت انجام می‌گیرد؛ پس می‌نویسیم:

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= 250 \text{ m} \\ v &= 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow x = vt + x_0 = 5t + 250$$

$$x(60) = 5 \times 60 + 250 = 550 \text{ m} \quad (\text{ب})$$

$$\Delta x = x(60) - x(0) = 550 - 250 = 300 \text{ m} \quad (\text{پ})$$

۳. نمودار مسیر مربوط به حرکت یکنواخت است. فواصل زمانی یک‌دهم ثانیه و فواصل مکانی یک‌دهم متر است. کافی است دو نقطه متفاوت از حرکت را داشته باشیم تا معادله حرکت یکنواخت را بنویسیم:

$$\frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{x - 0}{t - 0} = \frac{0.1}{0.1} \Rightarrow x = t$$

بنابراین در ثانیه پنجم حرکت داریم: $x(5) = 5 \text{ m}$

۴. برای محاسبه نیروی خالص وارد بر خودرو ابتدا به محاسبه شتاب ثابت آن با استفاده از رابطه زیر می‌پردازیم:

و سپس از طریق قانون دوم نیوتن مقدار نیروی خالص وارد بر آن را محاسبه کنید.

$$F = ma \Rightarrow F = (873)(44/57) = 3890.9/16 \text{ N}$$

۵. نیروی بالابرنده هلیکوپتر به سمت بالا و نیروی وزن هلیکوپتر به سمت پایین است:

$$F - W = ma \rightarrow F = W + ma = mg + ma = 4500 \times 10 + 4500 \times 2 = 45000 + 9000 = 54000 \text{ N}$$

$$W = mg = 50 \times 10 = 500 \text{ N}$$

ع. وزن جسم از رابطه روبرو محاسبه می‌شود:

(ب) حداقل نیروی لازم برای حرکت جسم به اندازه بیشترین اصطکاک ایستایی است:

$$F_{Ty} \rightarrow 0 \text{ N} - W = 0 \rightarrow N = W = 500 \text{ N}$$

(ج) اگر قرار باشد جسم با سرعت ثابت

حرکت کند، نیروی وارد شده بر آن باید با نیروی اصطکاک جنبشی برابر باشد:

$$F_k = \mu_s N = 0.25 \times 500 = 125 \text{ N}$$

(د) از رابطه قانون دوم نیوتن خواهیم داشت: $F = ma = 50 \times 3 = 150 \text{ N}$

۷. ابتدا جرم مجموع قایق‌ران‌ها و قایق کانو را محاسبه می‌کنیم:

$$m = m_1 + m_2 + m_3 = 70 + 75 + m + 20 = 165 \text{ Kg}$$

سپس برآیند نیروهای وارد بر قایق را محاسبه می‌کنیم. واکنش نیروهای قایق‌رانان

به آب، به سمت جلو و نیروی اصطکاک (مقاوم) آب به سمت عقب است:

$$F_T = F_1 + F_2 + F_3 = 400 + 420 - 380 = 440 \text{ N}$$

طبق قانون دوم خواهیم داشت:

$$a = \frac{F_T}{m} = \frac{440}{165} = 2.6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$