

گزینه ۱

۱

توان، از نسبت انرژی به زمان به دست می‌آید. یکای انرژی، ژول است که طبق رابطه انرژی جنبشی ($K = \frac{1}{2}mv^2$)، یکای فرعی انرژی، معادل $\text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$ است. پس یکای فرعی توان، برابر است با:

$$[P] = \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{\text{s}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3}$$

گزینه ۳

۲

کافی است $t = 2 \text{ ms} = 2 \times 10^{-3} \text{ s}$ را در معادله جریان قرار دهیم.

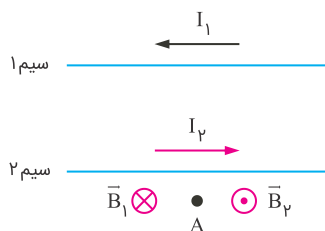
$$I = 2 \sin 250\pi t$$

$$= 2 \sin(250 \times \pi \times 2 \times 10^{-3}) = 2 \sin \frac{\pi}{2} = 2 \text{ A}$$

گزینه ۴

۳

ابتدا میدان سیم (۱) را در نقطه A، با استفاده از دست راست تعیین می‌کنیم. میدان سیم (۱) در این نقطه، برون‌سو است. برای اینکه میدان خالص در A صفر شود، میدان سیم (۲) باید در این نقطه، درون‌سو باشد. طبق قاعده دست راست، جهت جریان سیم (۲)، خلاف جهت جریان سیم (۱) و به سمت راست است. چون نقطه A به سیم (۲) نزدیک‌تر است، پس جریان این سیم، کمتر از جریان سیم (۱) است.



گزینه ۲

۴

بسامد موج، هنگام بازتاب یا شکست، تغییر نمی‌کند. بنابراین بسامد موج بازتابیده و موج شکست‌یافته و موج فرودی، یکسان است.

ابتدا شتاب گرانش در ارتفاع 3600 km از سطح زمین را به دست می آوریم:

$$\frac{g}{g_0} = \left(\frac{R_e}{R_e + h} \right)^2 \Rightarrow \frac{g}{10} = \left(\frac{6400}{6400 + 3600} \right)^2 = \left(\frac{16}{25} \right)^2$$

$$\Rightarrow g = 4/096 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

وزن ماهواره را به دست می آوریم:

$$W = mg = 250 \times 4/096 = 1024 \text{ N}$$

ابتدا بزرگی شتاب توقف خودرو که همان شتاب توقف راننده است را به دست می آوریم:

$$v_0 = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad v = 0$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0 - 20}{5} = -4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \Rightarrow |a| = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

حالا بزرگی نیروی خالص وارد بر راننده را به دست می آوریم:

$$F_{\text{net}} = ma \Rightarrow F_{\text{net}} = 80 \times 4 = 320 \text{ N}$$

کافی است رابطه نسبتی شدت صوت را به کار ببریم:

$$I = \frac{P_{\text{منبع}}}{4\pi r^2} \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \Rightarrow \frac{I_1}{0/1} = \left(\frac{640}{160} \right)^2 = 16$$

$$\Rightarrow I_1 = 1/6 \frac{W}{\text{m}^2}$$

باتوجه به نمودار جابه جایی - مکان، طول موج موج، برابر $\lambda = 20 \text{ cm} = 0/2 \text{ m}$ است. با استفاده از رابطه $\lambda = v.T$ دوره تناوب موج را به دست می آوریم.

$$\lambda = v.T \Rightarrow 0/2 = 10 \times T \Rightarrow T = 0/02 \text{ s}$$

در مدت $0/01 \text{ s}$ ، مسافت ذرات، خواسته شده است. چون $0/01$ ثانیه، نصف دوره تناوب است، پس هر کدام از ذرات، مسافت $2A$ را طی می کنند. بنابراین مسافت طی شده توسط هر ذره، برابر $l = 2A = 10 \text{ cm}$ است.

ابتدا دوره تناوب نوسان را به دست می آوریم:

$$\omega = 6\pi \Rightarrow \frac{2\pi}{T} = 6\pi \Rightarrow T = \frac{1}{3} \text{ (s)}$$

مدت زمان $\omega/5$ ، نسبت به دوره تناوب، برابر $\frac{3}{4} = \frac{\omega/5}{\frac{1}{3}}$ دوره است. یک دوره تناوب، تأثیری در جابه جایی ندارد. در نصف دوره، بیشترین جابه جایی نوسانگر، برابر $\Delta x = 2A = 4 \text{ cm}$ است. بنابراین سرعت متوسط در این مدت، برابر است با:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{4}{\frac{1}{2}} = 8 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

طبق نمودار، $\frac{T}{4} = \frac{1}{8} \text{ (s)}$ است، پس $T = \frac{1}{2} \text{ (s)}$ می باشد. تندی متوسط در مدت یک دوره، برابر $s_{av} = \frac{4A}{T}$ است. بنابراین دامنه نوسان، برابر است با:

$$s_{av} = \frac{4A}{T} \Rightarrow 24 = \frac{4A}{\frac{1}{2}} \Rightarrow A = 3 \text{ cm}$$

در $t = 0$ ، نوسانگر در $x_1 = A = 3 \text{ cm}$ قرار دارد. در زمان $t_2 = \frac{3}{4} \text{ s}$ ، مکان نوسانگر را تعیین می کنیم:

$$\frac{t_2}{T} = \frac{\frac{3}{4}}{\frac{1}{2}} = \frac{3}{2} \Rightarrow t_2 = 1/2 T \Rightarrow x_2 = -A = -3 \text{ cm}$$

بنابراین بزرگی جابه جایی در بازه $t_1 = 0$ تا $t_2 = \frac{3}{4} \text{ s}$ را به دست می آوریم:

$$\Delta x = x_2 - x_1 = -3 - 3 = -6 \text{ cm} \Rightarrow |\Delta x| = 6 \text{ cm}$$

باتوجه به نمودار، در مدت ۲۴ روز، $\frac{1}{8}$ هسته های اولیه باقی مانده است. پس:

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \Rightarrow \frac{N_0}{8} = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \Rightarrow n = 3$$

حالا زمان یک نیمه عمر را به دست می آوریم:

$$n = \frac{\Delta t}{T_{\frac{1}{2}}} \Rightarrow 3 = \frac{24}{T_{\frac{1}{2}}} \Rightarrow T_{\frac{1}{2}} = 8 \text{ روز}$$

ابتدا انرژی فوتون گسیلی را به دست می آوریم:

$$E = hf = 4 \times 10^{-15} \times 2/55 \times 10^{15} = 10/2 \text{ eV}$$

انرژی فوتون گسیلی، برابر با اختلاف انرژی دو لایه است؛ بنابراین به دنبال دو لایه ای می گردیم که اختلاف انرژی آن ها برابر $10/2 \text{ eV}$ باشد. باتوجه به ترازهای انرژی، این دو لایه، n_1 و n_2 هستند.

سومین خط رشته براکت، مربوط به گذار الکترون از $n' + 3 = 7$ به $n' = 4$ است. رابطه ریدبرگ را می نویسیم تا این طول موج به دست بیاید:

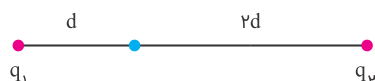
$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right) \Rightarrow \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{100} \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{7^2} \right)$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{100 \times 16 \times 49}{33} \Rightarrow \lambda \simeq 2376 \text{ nm}$$

چون نیروی الکتریکی خالص وارد بر هر بار، صفر است، میدان الکتریکی دو بار دیگر در محل بار سوم، باید صفر باشد. بنابراین نسبت هر یک از بارها را به دست می آوریم:



$$\vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 0 \Rightarrow \begin{cases} q_1, q_2 \text{ ناهمنام اند} \\ \frac{|q_1|}{(3d)^2} = \frac{|q_2|}{(2d)^2} \Rightarrow \frac{q_1}{q_2} = -\frac{9}{4} \end{cases}$$



$$\vec{E}_1 + \vec{E}_3 = 0 \Rightarrow \begin{cases} q_1, q_3 \text{ همنام اند} \\ \frac{|q_1|}{d^2} = \frac{|q_3|}{(2d)^2} \Rightarrow \frac{q_1}{q_3} = +\frac{1}{4} \end{cases}$$



$$\vec{E}_2 + \vec{E}_3 = 0 \Rightarrow \begin{cases} q_2, q_3 \text{ ناهمنام اند} \\ \frac{|q_2|}{d^2} = \frac{|q_3|}{(3d)^2} \Rightarrow \frac{q_2}{q_3} = -\frac{1}{9} \end{cases}$$

باتوجه به گزینه ها، گزینه ۴ درست است.

ابتدا بردارهای میدان الکتریکی بارهای q_1 و q_3 را در نقطه A تعیین می‌کنیم.

$$\vec{E}_1 = +k \frac{q_1}{r_1^2} \vec{i} = +9 \times 10^9 \times \frac{18 \times 10^{-6}}{11 \times 10^{-2}} \vec{i} = 2 \times 10^7 \frac{N}{C} \vec{i}$$

$$\vec{E}_3 = +k \frac{q_3}{r_3^2} \vec{i} = +9 \times 10^9 \times \frac{3 \times 10^{-6}}{9 \times 10^{-2}} \vec{i} = 3 \times 10^7 \frac{N}{C} \vec{i}$$

برایند میدان‌ها می‌تواند $\vec{E} = 3 \times 10^7 \frac{N}{C} \vec{i}$ یا $\vec{E} = -3 \times 10^7 \frac{N}{C} \vec{i}$ باشد. بنابراین مقدارهای ممکن برای دو بار، برابر است با:

$$\vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 = \vec{E}_{net}$$

حالت اول:

$$5 \times 10^7 \vec{i} + \vec{E}_2 = 3 \times 10^7 \vec{i} \Rightarrow E_2 = -2 \times 10^7 \frac{N}{C} \vec{i}$$

$$E_2 = k \frac{|q_2|}{r_2^2} \Rightarrow 2 \times 10^7 = 9 \times 10^9 \frac{|q_2|}{36 \times 10^{-4}}$$

$$\Rightarrow q_2 = -8 \mu C$$

حالت دوم:

$$5 \times 10^7 \vec{i} + \vec{E}_2 = -3 \times 10^7 \vec{i} \Rightarrow \vec{E}_2 = -8 \times 10^7 \frac{N}{C} \vec{i}$$

$$E_2 = k \frac{|q_2|}{r_2^2} \Rightarrow 8 \times 10^7 = 9 \times 10^9 \times \frac{|q_2|}{36 \times 10^{-4}}$$

$$\Rightarrow q_2 = -32 \mu C$$

باتوجه به گزینه‌ها، گزینه ۴ درست است.

اختلاف پتانسیل نقطه A و صفحه بالایی را به دست می‌آوریم:

$$\frac{\Delta V_{+,-}}{d_{+,-}} = \frac{\Delta V_{+,A}}{d_{+,A}} \Rightarrow \frac{20}{2 \text{ cm}} = \frac{\Delta V}{1/5 \text{ cm}} \Rightarrow \Delta V = 15 \text{ V}$$

حالا تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار را به دست می‌آوریم:

$$\begin{aligned} \Delta U &= q \Delta V \\ &= -5 \times 10^{-3} \times (+15) \\ &= -75 \times 10^{-3} \text{ J} = -75 \text{ mJ} \end{aligned}$$

بنابراین انرژی پتانسیل الکتریکی بار، 75 mJ کاهش می‌یابد.

کافی است از رابطه $R = \rho \frac{L}{A}$ استفاده می‌کنیم:

$$R = \rho \frac{L}{A} \Rightarrow R = 3 \times 10^{-5} \times \frac{17 \times 10^3 \times 10^2}{51} = 1 \Omega$$

تذکر: چون ρ برحسب $\Omega \cdot \text{cm}$ ، و مساحت برحسب cm^2 است، طول ریل برحسب cm جایگذاری شده است.

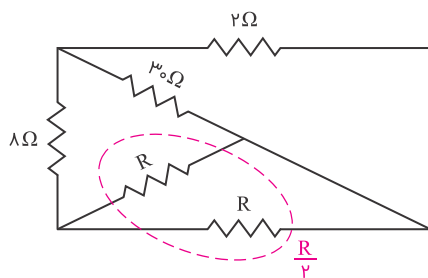
ابتدا جریان عبوری از باتری و مقاومت معادل مدار را حساب می‌کنیم:

$$V = \varepsilon - rI \Rightarrow 12 = 18 - 2I \Rightarrow I = 3 \text{ A}$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{\text{eq}} + r} \Rightarrow 3 = \frac{18}{R_{\text{eq}} + 2} \Rightarrow R_{\text{eq}} = 4 \Omega$$

از این‌جا به بعد، برای اینکه خیلی درگیر محاسبات نشویم، بهتر است کمی ابتکار به خرج بدهیم. مقاومت 24Ω و 8Ω و معادل بقیه، با هم موازی‌اند. پس معادل بقیه را به‌دست می‌آوریم.

$$\frac{1}{24} + \frac{1}{8} + \frac{1}{R'} = \frac{1}{4} \Rightarrow R' = 12 \Omega$$



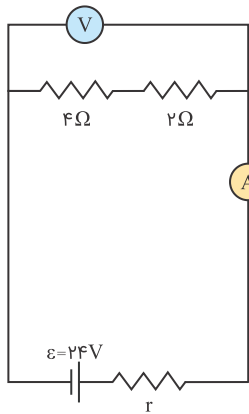
$$\left(\left(\frac{R}{2} + 8 \right) \parallel 30 \right) + 2 = 12 \Rightarrow \left(\frac{R}{2} + 8 \right) \parallel 30 = 10$$

معادل 30Ω ، با چه مقاومتی برابر 10Ω می‌شود؟ با مقاومت 15Ω . پس $\frac{R}{2} + 8$ برابر 15Ω است. بنابراین:

$$\frac{R}{2} + 8 = 15 \Rightarrow R = 14 \Omega$$

موازی شدن آمپرسنج آرمانی با دو مقاومت ۸Ω و ۲۴Ω ، سبب اتصال کوتاه شدن آن‌ها می‌شود. بنابراین شکل مدار، به صورت زیر ساده می‌شود:

جریان باتری، همان عددی است که آمپرسنج نشان می‌دهد. عدد ولت‌سنج نیز اختلاف پتانسیل را نشان می‌دهد.

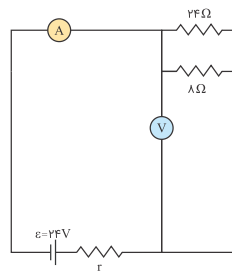
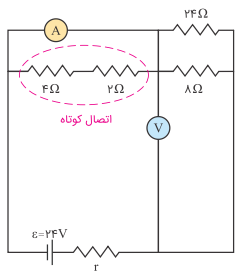


$$R_{eq} = ۴ + ۲ = ۶\Omega$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{eq} + r} = \frac{۲۴}{۶ + r}$$

$$V = \varepsilon I = \frac{۶ \times ۲۴}{۶ + r}$$

با جابه‌جا شدن V و A ، دو مقاومت سری ۲Ω و ۴Ω دچار اتصال کوتاه می‌شوند و شکل مدار، به صورت زیر می‌شود:



$$R_{eq} = \frac{۲۴ \times ۸}{۲۴ + ۸} = \frac{۲۴}{۳ + ۱} = ۶\Omega$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{eq} + r} = \frac{۲۴}{۶ + r}$$

$$V = R_{eq} I = ۶I = \frac{۶ \times ۲۴}{۶ + r}$$

بنابراین گزینه ۳ درست است.

اختلاف پتانسیل دو سر باتری V در نظر می‌گیریم؛ بنابراین اختلاف پتانسیل مقاومت $R_۳$ برابر V و اختلاف پتانسیل هر یک از مقاومت‌های $R_۱$ و $R_۲$ برابر $\frac{V}{۲}$ است. بنابراین توان مصرفی هر یک از مقاومت‌ها، برابر است با:

$$P_۱ = P_۲ = \frac{\left(\frac{V}{۲}\right)^2}{R} = \frac{۱}{۴} \frac{V^2}{R}$$

$$P_۳ = \frac{(V)^2}{R}$$

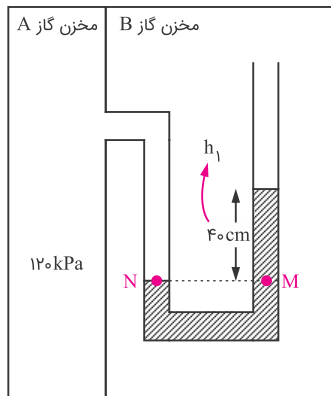
بنابراین توان‌های به دست آمده، گزینه ۱ درست است.

چون مساحت حلقه، در حال افزایش است، شار مغناطیسی در حلقه افزایش می‌یابد؛ بنابراین میدان مغناطیسی القایی، برون‌سو است. طبق قاعده دست راست، جهت جریان القایی در میله، از C به D است. با استفاده از رابطه $\varepsilon_{av} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ ، بزرگی نیروی محرکه القایی را به دست می‌آوریم:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{av} &= -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -N \frac{\Delta A}{\Delta t} B \cos \theta \\ &= -1 \times 20 \times 10^{-4} \times \frac{1}{2} \times 1 = 10^{-3} \text{ V}\end{aligned}$$

$$\Rightarrow |\varepsilon_{av}| = \varepsilon = 1 \text{ mV}$$

فشار نقاط M و N با هم برابر است. فشار نقاط P و Q نیز با هم برابر است.



$$P_N = P_M \Rightarrow P_A = P_B + \rho g h_1 \quad (1)$$

$$P_P = P_Q \Rightarrow P_B = P_0 + \rho g h_2 \quad (2)$$

با جایگذاری P_B در رابطه (۱)، ρ را به دست می‌آوریم:

$$P_A = P_0 + \rho g h_1 + \rho g h_2$$

$$\Rightarrow 120 \times 10^3 = 10^5 + \rho \times 10(h_1 + h_2)$$

$$20 \times 10^3 = \rho \times 10(1/6) \Rightarrow \rho = 1250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1250 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

طبق قضیه کار - انرژی جنبشی، تغییرات انرژی جنبشی، برابر با کار کل انجام‌شده روی خودرو است.

$$W_t = K_B - K_A = \frac{1}{2} m (v_B^2 - v_A^2) = 17500 \text{ J}$$

تندی خودرو در نقطه A، برابر $\frac{54 \text{ km}}{\text{h}} = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ است؛ بنابراین تندی در نقطه B برحسب متر بر ثانیه، برابر است با:

$$\frac{1}{2} \times 10^3 \times (v_B^2 - 15^2) = 17500 \Rightarrow v_B^2 - 225 = 175$$

$$\Rightarrow v_B = \sqrt{400} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

تندی را به $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ تبدیل می‌کنیم:

$$v_B = 20 \times 3/6 = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

به شکل زیر توجه کنید:



باتوجه به شکل زیر، فاصله بین دو ریل مجاور، به اندازه تغییر طول یک ریل است. پس:

$$\Delta L = L_1 \alpha \Delta \theta = ۲۰ \times ۱/۴ \times ۱۰^{-۵} \times ۳۰ = ۱/۴ \times ۱۰^{-۳} \text{ m}$$

$$\Rightarrow \Delta L = ۱/۴ \text{ mm}$$

تغییرات یخ برای رسیدن به آب ۱۰۰°C ، به صورت زیر است:

$$\text{آب } ۱۰۰^\circ \text{C} \xrightarrow{Q_3} \text{آب } ۰^\circ \text{C} \xrightarrow{Q_2} \text{یخ } ۰^\circ \text{C} \xrightarrow{Q_1} \text{یخ } -۲۰^\circ \text{C}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = mc_{\text{یخ}} \Delta \theta_1 + mL_f + mc_{\text{آب}} \Delta \theta_3$$

$$\Rightarrow Q = \underset{\substack{\downarrow \\ \text{جرم}}}{۲} \times \underset{\substack{\downarrow \\ |c_{\text{آب}}|}}{۴۲۰۰} (۰/۵ \times ۲۰ + ۸۰ + ۱۰۰)$$

$$= ۸۴۰۰ \times ۱۹۰ \text{ J} = ۱۵۹۶ \text{ kJ}$$

طبق تقارن حرکت با شتاب ثابت، سرعت در $t_1 = ۰$ و $t_2 = ۵ \text{ s}$ ، قرینه یکدیگرند. با فرض اینکه $v_0 > ۰$ است، بنابراین سرعت در $t_1 = ۰$ برابر $v_0 = +۱۰ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ و در $t = ۵ \text{ s}$ ، برابر $v_{5s} = -۱۰ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ است. بنابراین شتاب حرکت، برابر است با:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-۱۰ - ۱۰}{۵} = -۴ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

چون لحظه تغییر جهت، $t = ۲/۵ \text{ s}$ (وسط ۰ و ۵ s) است و خارج از بازه زمانی $(۵ \text{ s}, ۱۰ \text{ s})$ می باشد، پس اندازه سرعت متوسط در بازه $(۵ \text{ s}, ۱۰ \text{ s})$ ، برابر تندی متوسط است و سرعت در وسط این بازه، همان خواسته سؤال است:

$$v_{V/5s} = |v_{av(5s, 10s)}| = |at + v_0|$$

$$\Rightarrow v_{V/5s} = |-۴ \times ۷/۵ + ۱۰| = ۲۰ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

مجموع تغییرات سرعت در بازه‌های $(۷\text{ s}, ۱۰\text{ s})$ و $(۱۰\text{ s}, ۱۲\text{ s})$ را به دست می‌آوریم:

$$\begin{aligned}\Delta v &= \Delta v_{(۷\text{ s}, ۱۰\text{ s})} + \Delta v_{(۱۰\text{ s}, ۱۲\text{ s})} \\ \Rightarrow \Delta v &= \frac{۲۵ - ۱۰}{۱۰ - ۷} \times (۱۰ - ۷) + \frac{۱۵ - ۲۵}{۱۵ - ۱۰} \times (۱۲ - ۱۰) \\ \Rightarrow \Delta v &= ۹ + (-۴) = ۵ \frac{\text{m}}{\text{s}}\end{aligned}$$

حالا شتاب متوسط را به دست می‌آوریم:

$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۵}{۱۲ - ۷} = ۱ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

باتوجه به نمودار، سرعت متحرک در $t = ۴\text{ s}$ ، برابر صفر است. همچنین باتوجه به صورت سؤال، سرعت در لحظه $t = ۵/۵\text{ s}$ ، برابر است با:

$$v_{۵/۵\text{ s}} = \frac{\Delta x_{(۵,۶)}}{۶ - ۵} = \frac{-۶}{۱} = -۶ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

حالات شتاب متحرک را به دست می‌آوریم:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-۶ - ۰}{۵/۵ - ۴} = -۴ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

با استفاده از معادله مستقل از زمان، تندی در لحظه عبور از مبدأ را به دست می‌آوریم:

$$\begin{aligned}v_{۴\text{ s}}^2 - v_{x=۰}^2 &= ۲a\Delta x \Rightarrow ۰ - v_{x=۰}^2 = ۲(-۴) \times ۸ \\ \Rightarrow |v_{x=۰}| &= ۸ \frac{\text{m}}{\text{s}}\end{aligned}$$

لحظه تغییر جهت و مکان تغییر جهت (رأس سهمی) را به دست می آوریم:

$$x = -2t^2 + 10t - 8$$

$$\Rightarrow \begin{cases} t = \frac{-(-10)}{2(-2)} = 2.5 \text{ s} \\ x = -2(2.5)^2 + 10(2.5) - 8 = 4.5 \text{ m} \end{cases}$$

دومین لحظه ای که جهت بردار مکان عوض می شود را به دست می آوریم:

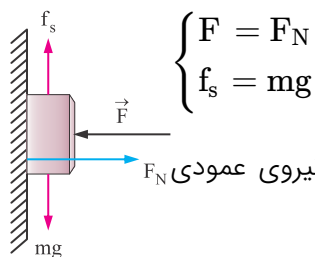
$$x = 0 \Rightarrow -2t^2 + 10t - 8 = 0$$

$$\Rightarrow (t^2 - 5t + 4) = 0 \Rightarrow \begin{cases} t = 1 \text{ s} \\ t = 4 \text{ s} \end{cases} \quad \checkmark$$

حالا سرعت متوسط در بازه $(2.5 \text{ s}, 4 \text{ s})$ را به دست می آوریم:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0 - 4.5}{4 - 2.5} = -3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

نیروهای وارد بر جسم را رسم می کنیم. چون جسم، ابتدا ساکن است، با افزایش F ، جسم همچنان ساکن می ماند. بنابراین:



چون جسم، ساکن است، f_s همچنان با mg برابر است؛ اما F_N ، ۲ برابر می شود. بنابراین نیروی عمودی F_N سطح، ۲ برابر می شود.