



## فصل ۱

## ۱-۱ شناخت حرکت

- ۱- با توجه به داده‌های نقشه‌ی شکل زیر،
- الف) تندی متوسط و اندازه‌ی سرعت متوسط خودرو را پیدا کنید.
- ب) مفهوم فیزیکی این دو کمیت چه تفاوتی با یکدیگر دارد؟
- پ) در چه صورت تندی متوسط و اندازه‌ی سرعت متوسط می‌توانست تقریباً با یکدیگر برابر باشد؟



الف) از رابطه‌های (۱-۱) و (۲-۱) داریم:

$$S_{av} = \frac{l}{\Delta t}, \quad v_{av} = \frac{d}{\Delta t}$$

$$l = 88 \text{ Km}, d = 60 \text{ Km}, \Delta t = 1\text{h} + 20 \text{ min} = 1\text{h} + \frac{1}{3}\text{h} = \frac{4}{3}\text{h}$$

$$\rightarrow S_{av} = \frac{88}{\frac{4}{3}} = 66 / \frac{16}{3} \frac{\text{Km}}{\text{h}}$$

$$\rightarrow v_{av} = \frac{60}{\frac{4}{3}} = 45 / \frac{11}{3} \frac{\text{Km}}{\text{h}}$$

ب) سرعت متوسط یک کمیت برداری است و به مسیر حرکت جسم بستگی ندارد. در محاسبه‌ی سرعت متوسط تنها جابه‌جایی بین نقطه‌ی

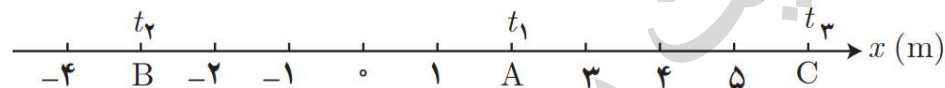
شروع و پایان حرکت مهم است. در حالی که تندی متوسط یک کمیت نرده‌ای است و به مسیر طی شده توسط متحرک وابسته است.



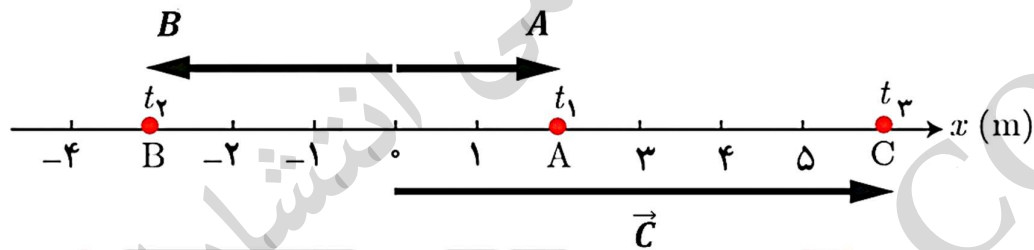
## تمرین دوره ای حرکت بر خط راست

(پ) هرچه مسیری طی شده توسط متحرک و اندازه‌ی بردار جابه‌جایی آن به هم نزدیک‌تر باشند؛ به عبارت دیگر هرچه مسیر منحنی قوس کمتری داشته و به خط صاف نزدیک‌تر باشد، تبدی متوسط و اندازه‌ی سرعت متوسط به هم نزدیک‌تر خواهند بود.

۲- متحرکی مطابق شکل در لحظه‌ی  $t_1$  در نقطه‌ی A، در لحظه‌ی  $t_2$  در نقطه‌ی B و در لحظه‌ی  $t_3$  در نقطه‌ی C قرار دارد.

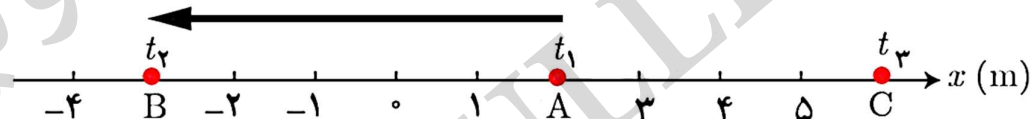


الف) بردارهای مکان متحرک را در هر یک از این لحظه‌ها روی محور x رسم کنید و بر حسب بردار یکه بنویسید.

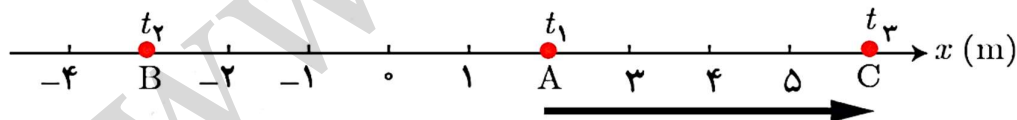


$$\vec{A} = 2\vec{i}, \vec{B} = -3\vec{i}, \vec{C} = 6\vec{i}$$

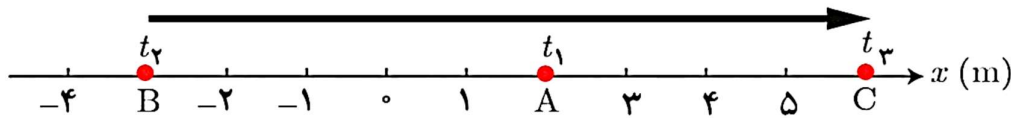
(ب) بردار جابه‌جایی متحرک را در هر یک از بازه‌های زمانی  $t_1$  تا  $t_2$ ،  $t_2$  تا  $t_3$  و  $t_1$  تا  $t_3$  به دست آورید.



$$\Delta \vec{x}(t_2, t_1) = x_B - x_A = (-3 - 2)\vec{i} = -5\vec{i}$$

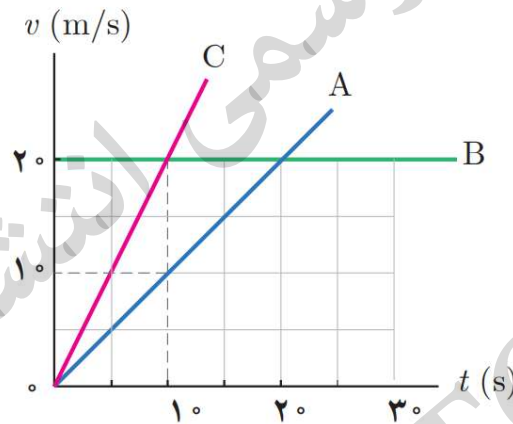


$$\Delta \vec{x}(t_3, t_1) = x_C - x_A = (6 - 2)\vec{i} = 4\vec{i}$$



$$\Delta \vec{x}(t_3, t_2) = x_C - x_B = (6 - (-3))\vec{i} = 9\vec{i}$$

۳- در شکل زیر نمودار سرعت - زمان سه متحرک نشان داده شده است.



الف) شتاب سه متحرک را به طور کیفی با یکدیگر مقایسه کنید.

ب) شتاب هر متحرک را به دست آورید.

پ) در بازه‌ی زمانی ۰s تا ۱۰s جابه‌جایی این سه متحرک را پیدا کنید.

الف) شتاب متحرک B صفر است، زیرا سرعت آن ثابت است. در مورد دو متحرک A و C نیز می‌توان گفت چون شیب نمودار  $v-t$  برای متحرک C

بیشتر است، در نتیجه شتاب آن بزرگ‌تر از شتاب متحرک A خواهد بود. ( $a_C > a_A$ )

(شیب هر خط، برابر با تانژانت زاویه‌ای است که آن خط با جهت مثبت محور افقی می‌سازد و هرچه این زاویه بزرگ‌تر باشد، تانژانت یا شیب آن

بیشتر بزرگ‌تر است.)

ب)

$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \rightarrow a_B = 0$$

با استفاده از نمودار در بازه‌ی زمانی (۰s, ۱۰s) تانیه شتاب دو متحرک A و C را محاسبه می‌کنیم:

$$a_A = \frac{10-0}{10-0} = 1 \frac{m}{s^2}, a_C = \frac{20-0}{10-0} = 2 \frac{m}{s^2}$$

پ) سطح زیر نمودار سرعت زمان برابر جابه‌جایی هر متحرک است:



## تمرین دوره ای حرکت بر خط راست

$$x_A = \frac{10 \times 10}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ m}$$

$$x_C = \frac{10 \times 20}{2} = \frac{200}{2} = 100 \text{ m}$$

$$x_B = 20 \times 10 = 200 \text{ m}$$

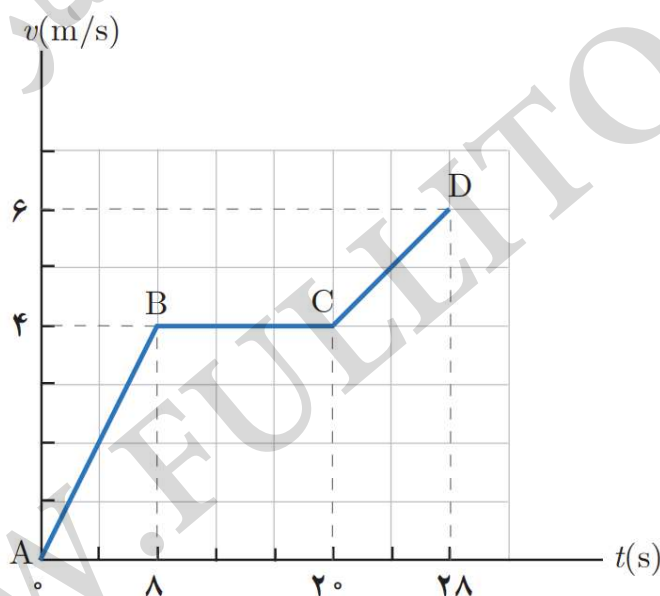
دقت کنید:

سطح زیر نمودار A، مثلثی به ارتفاع ۱۰ و قاعده‌ی ۱۰ می‌باشد.

سطح زیر نمودار C، مثلثی به ارتفاع ۲۰ و قاعده‌ی ۱۰ می‌باشد.

سطح زیر نمودار B، مستطیلی به طول ۲۰ و عرض ۱۰ می‌باشد.

۴- شکل زیر نمودار سرعت - زمان متحرکی را که در امتداد محور x حرکت می‌کند در مدت ۲۸ ثانیه نشان می‌دهد.



الف) شتاب در هر یک از مرحله‌های AB، BC و CD چقدر است؟

ب) شتاب متوسط در بازه‌ی زمانی صفر تا ۲۸ ثانیه چقدر است؟

پ) جابه‌جایی متحرک را در این بازه‌ی زمانی پیدا کنید.

الف)

$$\vec{a}_{av} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1}$$





## تمرین دوره ای دوازدهم تجربی

$$\vec{a}_{avAB} = \frac{v_B - v_A}{t_B - t_A} = \frac{4 - 0}{8 - 0} = \frac{1}{2} = 0.5 \frac{m}{s^2}$$

$$\vec{a}_{avBC} = \frac{v_C - v_B}{t_C - t_B} = \frac{4 - 4}{20 - 8} = \frac{0}{12} = 0 \frac{m}{s^2}$$

بدون محاسبه و با توجه به نمودار، چون سرعت ثابت است، می توان نتیجه گرفت:

$$\vec{a}_{avBC} = 0$$

$$\vec{a}_{avCD} = \frac{v_D - v_C}{t_D - t_C} = \frac{6 - 4}{28 - 20} = \frac{2}{8} = 0.25 \frac{m}{s^2}$$

(ب) شتاب متوسط در بازه‌ی زمانی (۰، ۲۸)

$$\vec{a}_{avAD} = \frac{v_D - v_A}{t_D - t_A} = \frac{6 - 0}{28 - 0} = \frac{6}{28} = 0.21 \frac{m}{s^2}$$

(پ) جابه‌جایی متحرک برابر با سطح زیر نمودار سرعت - زمان است:

$$\Delta x = \Delta x_{AB} + \Delta x_{BC} + \Delta x_{CD}$$

$$\Delta x_{AB} = S_{\text{مثلث}} = 2 \times \frac{4}{2} = 4m$$

$$\Delta x_{AB} = S_{\text{مستطیل}} = 4 \times (20 - 8) = 48m$$

$$\Delta x_{AB} = S_{\text{دوزنقه}} = (4 + 6) \times \frac{(28 - 20)}{2} = 40m$$

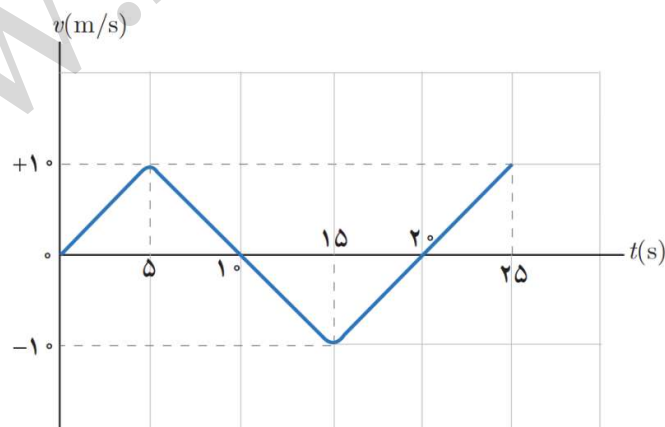
و در نهایت داریم:

$$\Delta x = \Delta x_{AB} + \Delta x_{BC} + \Delta x_{CD} = 4 + 48 + 40 = 92m$$

۵- نمودار سرعت - زمان متحرکی مطابق شکل زیر است.

الف) نمودار شتاب - زمان این متحرک را رسم کنید.

ب) اگر  $x = -10m$  باشد نمودار مکان - زمان متحرک را رسم کنید.





## تمرین دوره ای حرکت بر خط راست

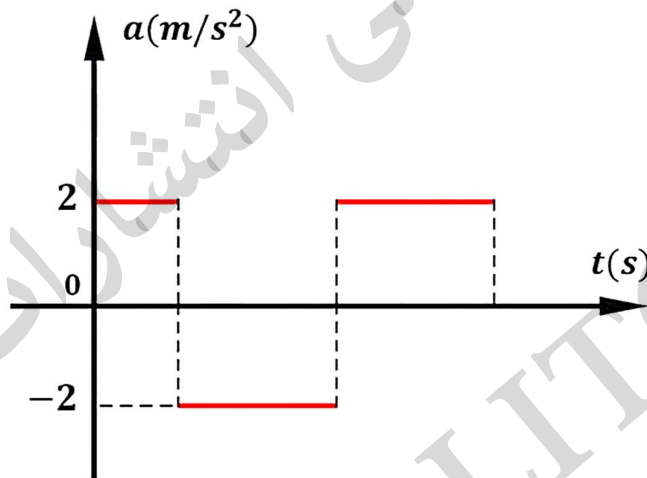
الف) با استفاده از نمودار سرعت - زمان، شتاب متحرک را در سه بازه ی  $(0, 5)$  و  $(5, 15)$  و  $(15, 25)$  به دست می آوریم:

$$\vec{a}_{av} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1}$$

$$(0, 5): a_{av} = \frac{10 - 0}{5 - 0} = \frac{10}{5} = 2 \frac{m}{s^2}$$

$$(5, 15): a_{av} = \frac{-10 - 10}{15 - 5} = \frac{-20}{10} = -2 \frac{m}{s^2}$$

$$(15, 25): a_{av} = \frac{10 - (-10)}{25 - 15} = \frac{20}{10} = 2 \frac{m}{s^2}$$



ب) برای رسم نمودار مکان - زمان باید مکان متحرک را در  $t = 5, 10, 15, 20, 25$  s به دست آورد و البته مکان آن در لحظه ی صفر که داده -

ی مسئله است:  $x_0 = -10 \text{ m}$

از رابطه ی سرعت متوسط داریم:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \rightarrow \Delta x = v_{av} \Delta t \rightarrow x - x_0 = v_{av} \Delta t \rightarrow x = v_{av} \Delta t + x_0$$

بنابراین ابتدا باید  $v_{av}$  برای هر بازه به دست آوریم:

بازه ی  $(0, 5)$ :

$$v_{av} = \frac{v_{t=0} + v_{t=5}}{2} = \frac{0 + 10}{2} = 5 \frac{m}{s}$$

$$\xrightarrow{x_0 = -10 \text{ m}} x_{t=5} = 5 \times 5 + (-10) = 15 \text{ m}$$



بازه‌ی (۵, ۱۰):

دقت کنید در این بازه و بازه‌های بعدی، مکان اولیه‌ی متحرک دیگر ۱۰ متر نیست! بلکه مکانی است که در بازه‌ی زمانی قبل به دست آورده‌ایم:

$$v_{av} = \frac{v_{t=5} + v_{t=10}}{2} = \frac{10 + 0}{2} = 5 \frac{m}{s}$$

$$\xrightarrow{x_0 = 15m} x_{t=10} = 5 \times 5 + 15 = 40m$$

بازه‌ی (۱۰, ۱۵):

$$v_{av} = \frac{v_{t=10} + v_{t=15}}{2} = \frac{0 + (-10)}{2} = -5 \frac{m}{s}$$

$$\xrightarrow{x_0 = 40m} x_{t=15} = -5 \times 5 + 40 = 15m$$

بازه‌ی (۱۵, ۲۰):

$$v_{av} = \frac{v_{t=15} + v_{t=20}}{2} = \frac{-10 + 0}{2} = -5 \frac{m}{s}$$

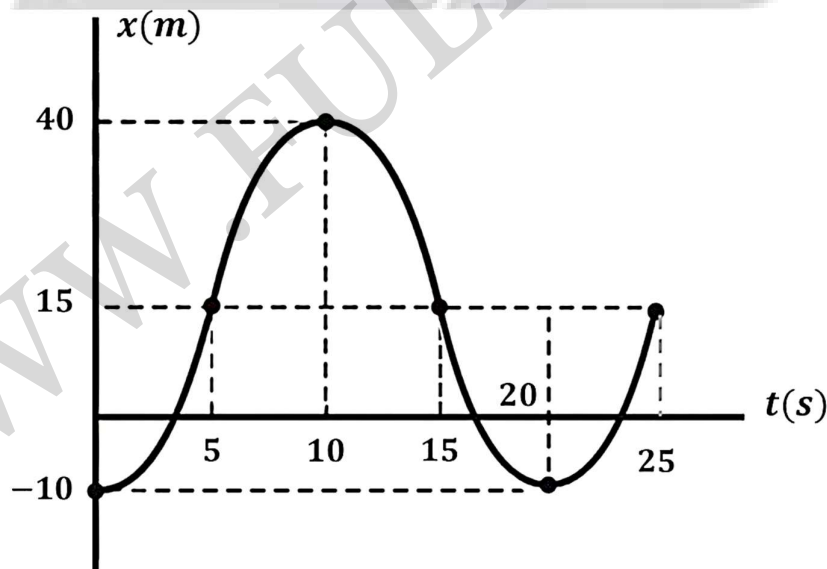
$$\xrightarrow{x_0 = 15m} x_{t=20} = -5 \times 5 + 15 = -10m$$

بازه‌ی (۲۰, ۲۵):

$$v_{av} = \frac{v_{t=20} + v_{t=25}}{2} = \frac{0 + 10}{2} = 5 \frac{m}{s}$$

$$\xrightarrow{x_0 = -10m} x_{t=25} = 5 \times 5 + (-10) = 15m$$

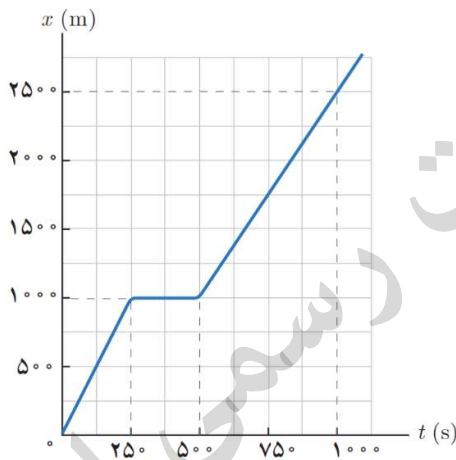
دقت کنید: در حرکت با شتاب ثابت، منحنی مکان-زمان به شکل سهمی است.



## تمرین دوره ای حرکت بر خط راست



۶- شکل زیر نمودار مکان - زمان حرکت یک دوندۀ دوی نیمه استقامت را در امتداد یک خط راست نشان می دهد.



الف) در کدام بازه ی زمانی دوندۀ سریع تر دویده است؟

ب) در کدام بازه ی زمانی، دوندۀ ایستاده است؟

پ) سرعت دوندۀ را بازه ی زمانی ۰ s و ۲۵۰ s حساب کنید.

ت) سرعت دوندۀ را بازه ی زمانی ۵۰۰ s و ۱۰۰۰ s حساب کنید.

ث) سرعت متوسط دوندۀ را در بازه ی زمانی ۰ s تا ۱۰۰۰ s حساب کنید.

الف) با دقت در نمودار مشاهده می کنیم که شیب نمودار مکان - زمان، در بازه ی زمانی (۰, ۲۵۰ s) بزرگتر از بازه ی (۵۰۰, ۱۰۰۰ s) است.

(شیب نمودار مکان - زمان برابر سرعت دوندۀ است.)

علاوه بر این در بازه ی (۲۵۰, ۵۰۰ s) شیب نمودار و در نتیجه سرعت صفر است.

ب) در بازه ی (۲۵۰, ۵۰۰ s) سرعت صفر و دوندۀ ایستاده است.

پ)

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{1000 - 0}{250 - 0} = \frac{1000}{250} = 4 \frac{m}{s}$$

ت)

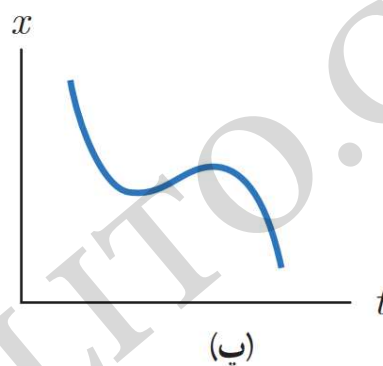
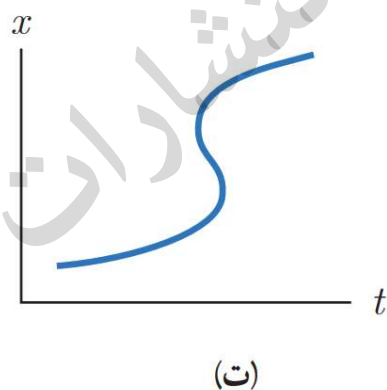
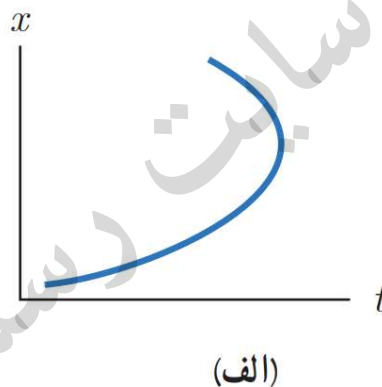
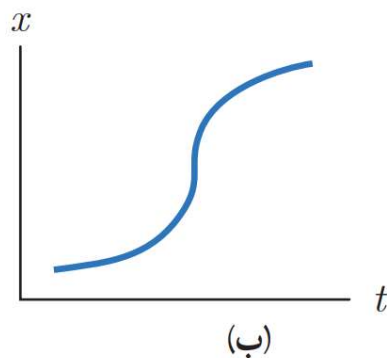
$$v_{av} = \frac{2500 - 1000}{1000 - 500} = \frac{1500}{500} = 3 \frac{m}{s}$$

ث)

$$v_{av} = \frac{2500 - 0}{1000 - 0} = \frac{2500}{1000} = 2.5 \frac{m}{s}$$



۷- توضیح دهید کدام یک از نمودارهای مکان - زمان شکل زیر می تواند نشان دهنده ی نمودار  $x-t$  یک متحرک باشد.



نمودار مکان - زمان (پ)، زیرا:

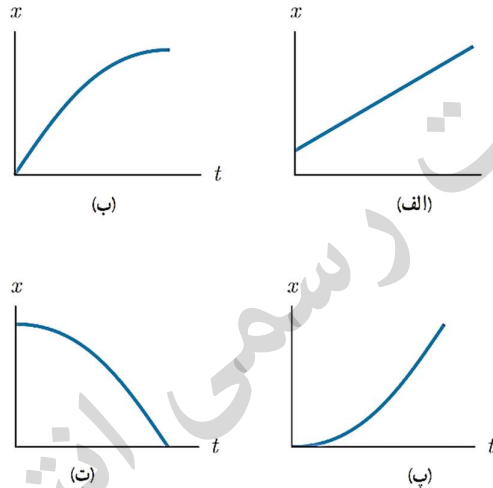
در شکل های (الف) و (ت) متحرک در یک زمان به ترتیب در ۲ و ۳ مکان قرار دارد و همچنین در شکل (ب) متحرک در یک زمان در چند مکان قرار

دارد که ممکن نیست!

یک شیء در یک زمان مشخص، تنها می تواند در یک مکان قرار داشته باشد.


**تمرین دوره ای حرکت بر خط راست**

۸- توضیح دهید از نمودارهای مکان - زمان شکل زیر کدام موارد حرکت متحرکی را توصیف می کند که از حال سکون شروع به حرکت کرده و به تدریج بر تندی آن افزوده شده است.



(الف) شیب منحنی مکان - زمان و در نتیجه سرعت متحرک ثابت و برابر با سرعت اولیه ی آن است.

(ب) سرعت اولیه ی متحرک صفر نیست و با گذشت زمان کاهش می یابد تا در نهایت به صفر می رسد.

(پ) در لحظه ی  $t = 0$  شیب خط مماس بر منحنی، موازی محور زمان و در نتیجه تندی اولیه ی متحرک صفر است. همچنین مشاهده می کنیم

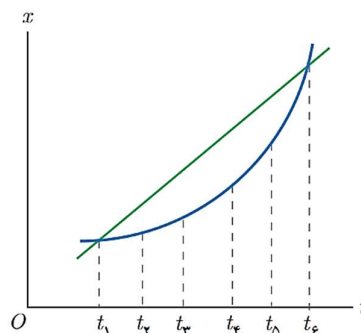
که با گذشت زمان، شیب خط مماس افزایش می یابد. بنابراین تندی متحرک در جهت مثبت محور  $x$  ها در حال افزایش است.

(این نمودار پاسخ سوال است.)

(ت) با توجه به توضیحاتی که در قسمت قبل گفته شد، در این نمودار نیز سرعت اولیه ی متحرک صفر است و تنها تفاوت آن با قسمت (پ) در این

است که سرعت در خلاف جهت محور  $x$  ها در حال افزایش می باشد. (این نمودار پاسخ سوال است.)

۹- شکل زیر نمودار مکان - زمان دو خودرو را نشان می دهد که در جهت محور  $x$  در حرکت اند.





## تمرین دوره ای دوازدهم تجربی

- (الف) در چه لحظه‌هایی دو خودرو از کنار یکدیگر می‌گذرند؟  
 (ب) در چه لحظه‌ای تندی دو خودرو تقریباً یکسان است؟  
 (پ) سرعت متوسط دو خودرو را در بازه‌ی زمانی  $t_1$  تا  $t_2$  با هم مقایسه کنید.

(الف) در دو لحظه خودروها از کنار هم می‌گذرند؛ زمان‌هایی که مکان دو متحرک با هم برابر است یا نقاطی که در آن‌ها دو منحنی یکدیگر را قطع می‌کنند:  $t_1$  و  $t_2$ .

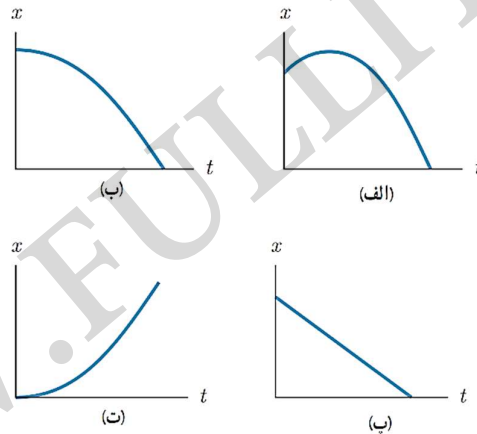
(ب) لحظه‌ی  $t_2$ ؛ با توجه به شکل می‌بینیم که شیب خط مماس بر منحنی آبی با شیب خط سبز رنگ یکی است.  
 (می‌دانیم دو خط موازی دارای شیب‌های برابرند.)

(پ) سرعت متوسط متحرک، مستقل از مسیر حرکت آن است و فقط به نقاط شروع و پایان حرکت وابسته است.

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

بنابراین سرعت متوسط دو خودرو با هم برابر است.

- ۱۰- توضیح دهید کدام یک از نمودارهای مکان - زمان نشان داده شده، حرکت متحرکی را توصیف می‌کند که سرعت اولیه‌ی آن در جهت محور  $x$  و شتاب آن برخلاف جهت محور  $x$  است.



(الف) شیب خط مماس بر منحنی در لحظه‌ی شروع حرکت، مثبت و بنابراین سرعت اولیه‌ی متحرک در جهت مثبت محور  $x$  است.

با استفاده از رابطه‌ی  $\vec{a}_{av} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$  و با توجه به اینکه سرعت متحرک پس از عبور از نقطه‌ی اوج، در خلاف جهت محور  $x$  در حال افزایش است،

می‌توان نتیجه گرفت که شتاب متحرک منفی و در خلاف جهت محور  $x$  است. (این نمودار پاسخ سوال است.)



## تمرین دوره ای حرکت بر خط راست

در ادامه نادرستی سه قسمت بعد را بررسی می‌کنیم.

(ب) خط مماس در لحظه‌ی شروع حرکت موازی محور زمان است. بنابراین شیب خط و به تبع آن سرعت اولیه‌ی متحرک صفر است.

(پ) سرعت متحرک در تمام مسیر ثابت و در خلاف جهت محور  $x$  است.

(ت) خط مماس بر منحنی در لحظه‌ی شروع حرکت، موازی محور زمان و بنابراین سرعت اولیه‌ی متحرک صفر است. همچنین با توجه به

توضیحات قسمت (الف) سرعت در جهت مثبت محور  $x$  افزایش می‌یابد و در نتیجه شتاب آن نیز در جهت مثبت محور  $x$  خواهد بود.

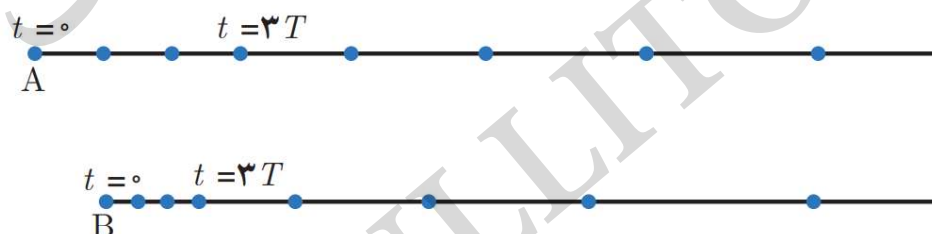
نکته‌ی مهم:

در حرکت با شتاب ثابت، مکان متحرک تابع درجه‌ی دوم از زمان است که نمودار آن به شکل سهمی می‌باشد. حال اگر شتاب حرکت مثبت

باشد، دهانه‌ی سهمی رو به بالا و اگر منفی باشد، دهانه‌ی سهمی رو به پایین است.

با این تحلیل نمودار (ت)، به سادگی از بررسی حذف می‌شود.

۱۱- هر یک از شکل‌های زیر مکان یک خودرو را در لحظه‌های  $t = 0$ ،  $t = 2T$ ،  $t = 3T$  و ... نشان می‌دهد. هر دو خودرو در لحظه‌ی  $t = 3T$  شتاب می‌گیرند. توضیح دهید،



(الف) سرعت اولیه‌ی کدام خودرو بیشتر است.

(ب) سرعت نهایی کدام خودرو بیشتر است.

(پ) کدام خودرو شتاب بیشتری دارد.

(الف) هر دو خودرو در لحظه‌ی  $3T$  شتاب می‌گیرند، بنابراین حرکت خودروها تا قبل از آن یعنی در بازه‌ی  $(0, 3T)$ ، حرکت با سرعت ثابت بوده

است که معادله‌ی آن به فرم زیر می‌باشد. در نتیجه سرعت اولیه‌ی خودروی A بیشتر است، زیرا در بازه‌ی زمانی یکسان مسافت بیشتری را طی

کرده است:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \rightarrow \Delta x = v \Delta t, \begin{cases} \Delta x_A > \Delta x_B \\ \Delta t_A = \Delta t_B = 3T \end{cases} \rightarrow v_A > v_B$$

(ب)





## تمرین دوره ای دوازدهم تجربی

$$\Delta x = \frac{v + v_0}{2} \Delta t, \Delta x_A = \frac{v_{\text{نهایی A}} + v_{\text{اولیه A}}}{2} \Delta t, \Delta x_B = \frac{v_{\text{نهایی B}} + v_{\text{اولیه B}}}{2} \Delta t$$

با توجه به شکل می بینیم که در بازه های زمانی بعد از ۳T؛  $\Delta x_B > \Delta x_A$  و در قسمت (الف) نیز به دست آوردیم:  $B > v_{\text{اولیه A}}$

بنابراین باید  $A > v_{\text{نهایی B}}$  تا جابه جایی خودروی B در بازه های زمانی یکسان بیشتر از جابه جایی خودروی A باشد.

(پ) از رابطه  $\Delta x = \frac{1}{2} a t^2 + v_0 t$  برای هر کدام از خودروها داریم:

$$\Delta x_A = \frac{1}{2} a_A t^2 + v_{\text{اولیه A}} t, \Delta x_B = \frac{1}{2} a_B t^2 + v_{\text{اولیه B}} t$$

با توجه به شکل می بینیم که در بازه های زمانی بعد از ۳T؛  $\Delta x_B > \Delta x_A$  و در قسمت (الف) نیز به دست آوردیم:  $B > v_{\text{اولیه A}}$

بنابراین باید  $A > a_{\text{نهایی B}}$  تا جابه جایی خودروی B در بازه های زمانی یکسان بیشتر از جابه جایی خودروی A باشد.

۱۲- معادله ی حرکت جسمی در SI به صورت  $x = t^3 - 3t^2 + 4$  است.

(الف) مکان متحرک را در  $t = 0$  s و  $t = 2$  s به دست آورید.

(ب) سرعت متوسط جسم را در بازه ی زمانی صفر تا ۲ ثانیه پیدا کنید.

-(الف) در معادله ی حرکت جسم به جای  $t$  مقادیر داده شده را قرار می دهیم:

$$x = t^3 - 3t^2 + 4$$

$$t = 0 \text{ s} \rightarrow x_0 = (0)^3 - 3(0)^2 + 4 = 4$$

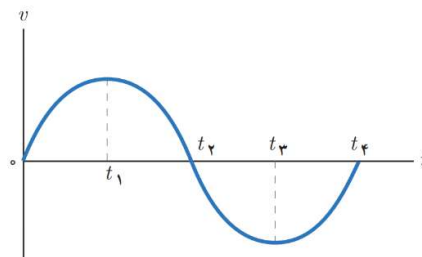
$$t = 2 \text{ s} \rightarrow x_{t=2} = (2)^3 - 3(2)^2 + 4 = 0$$

(ب)

$$v_{\text{av}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0 - 4}{2 - 0} = \frac{-4}{2} = -2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

۱۳- نمودار سرعت - زمان متحرکی در شکل زیر نشان داده شده است. تعیین کنید در کدام بازه های زمانی بردار

شتاب در جهت محور x و در کدام بازه های زمانی در خلاف جهت محور x است.

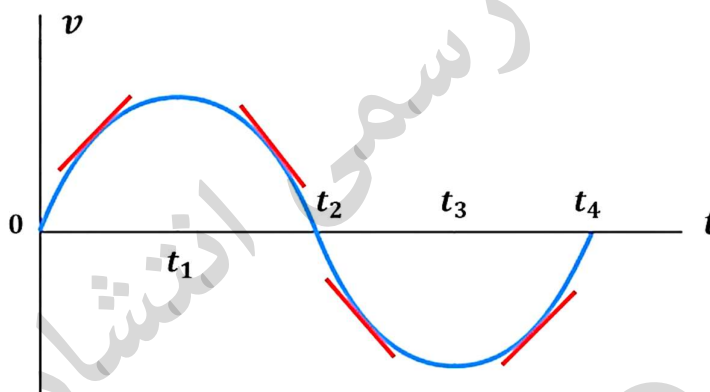



**تمرین دوره ای حرکت بر خط راست**

بردار شتاب در هر نقطه، خط مماس بر نمودار سرعت - زمان در آن نقطه است:

در بازه های  $(0, t_1)$  و  $(t_3, t_4)$  شیب خط مماس بر نمودار مثبت و بنابراین شتاب در جهت مثبت محور  $x$  است.

در بازه های  $(t_1, t_3)$  شیب خط مماس بر نمودار منفی و بنابراین شتاب در خلاف جهت محور  $x$  است.


**۲-۱ حرکت با سرعت ثابت**

۱۴- جسمی با سرعت ثابت بر مسیری مستقیم در حرکت است. اگر جسم در لحظه‌ی  $t_1 = 5/s$  در مکان  $x_1 = 6/m$  و در لحظه‌ی  $t_2 = 20/s$  در مکان  $x_2 = 36/m$  باشد،  
الف) معادله‌ی مکان - زمان جسم را بنویسید.  
ب) نمودار مکان - زمان جسم را رسم کنید.

$$t_1 = 5s, x_1 = 6m$$

$$t_2 = 20s, x_2 = 36m$$

الف) طبق رابطه‌ی  $(v-1)$  معادله‌ی مکان - زمان جسمی که با سرعت ثابت حرکت می‌کند به شکل  $x = vt + x_0$  می‌باشد. بنابراین ابتدا

سرعت جسم را از رابطه‌ی  $(4-1)$  به دست می‌آوریم:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{36 - 6}{20 - 5} = \frac{30}{15} = 2 \frac{m}{s}$$

$$\rightarrow x = 2t + x_0 \quad (1)$$



## تمرین دوره ای دوازدهم تجربی

در ادامه باید مکان اولیه یا  $x_0$  را محاسبه کنیم:

$$t_1 = 5s, x_1 = 6m \rightarrow 6 = 2 \times 5 + x_0$$

$$\rightarrow x_0 = 6 - 10 = -4 \quad (2)$$

(دقت کنید مقدار  $x_0$  را می‌توانیم با استفاده از مقدارهای  $t_2$  و  $x_2$  نیز به دست بیاوریم. در هر دو حالت به یک جواب می‌رسیم.)

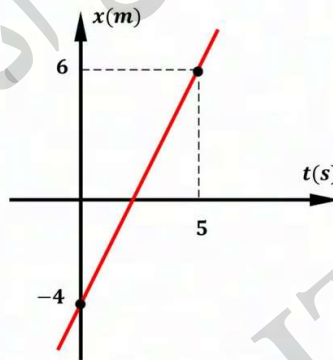
$$\xrightarrow{(1), (2)} x = 2t - 4$$

(ب) برای رسم نمودار دو نقطه از آن کافی است:

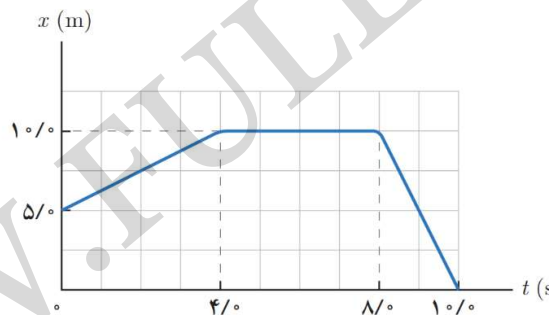
$$x = 2t - 4$$

$$t = 0 \rightarrow x = -4 : (0, -4)$$

$$\rightarrow t = 5 \rightarrow x = +6 : (5, +6)$$



۱۵- شکل زیر نمودار مکان - زمان متحرکی را نشان می‌دهد که در امتداد محور  $x$  حرکت می‌کند.



(الف) جابه‌جایی و مسافت پیموده شده توسط متحرک در کل زمان حرکت چقدر است؟

(ب) سرعت متوسط متحرک را در هر یک از بازه‌های زمانی  $0/s$  تا  $4/s$ ،  $4/s$  تا  $8/s$ ،  $8/s$  تا  $10/s$  و همچنین در کل زمان حرکت به دست آورید.

(ب) معادله‌ی حرکت متحرک را در هر یک از بازه‌های زمانی  $0/s$  تا  $4/s$ ،  $4/s$  تا  $8/s$ ،  $8/s$  تا  $10/s$  بنویسید.

(ت) نمودار سرعت - زمان متحرک را رسم کنید.



## تمرین دوره ای حرکت بر خط راست

الف) با توجه به شکل مکان اولیه ی متحرک:  $x_0 = 5m$  و مکان نهایی آن:  $x = 0$ :

$$\Delta x = x - x_0 = 0 - 5 = -5m$$

مسافت طی شده در بازه ی  $(0, 4s)$ :  $5m$ ، در بازه ی  $(4, 8s)$ : صفر و در بازه ی  $(8, 10s)$ :  $10m$  می باشد. بنابراین مسافت کل طی شده برابر

$$5 + 0 + 10 = 15m \quad \text{است یا:}$$

ب) سرعت متوسط در هر بازه:

$$(0, 4s) \rightarrow v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{10 - 5}{4 - 0} = \frac{5}{4} = 1.25 \frac{m}{s}$$

$$(4, 8s) \rightarrow v_{av} = \frac{10 - 10}{8 - 4} = \frac{0}{4} = 0 \frac{m}{s}$$

$$(8, 10s) \rightarrow v_{av} = \frac{0 - 10}{10 - 8} = \frac{-10}{2} = -5 \frac{m}{s}$$

سرعت متوسط در کل زمان حرکت:

$$(0, 10s) \rightarrow v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0 - 5}{10 - 0} = \frac{-5}{10} = -0.5 \frac{m}{s}$$

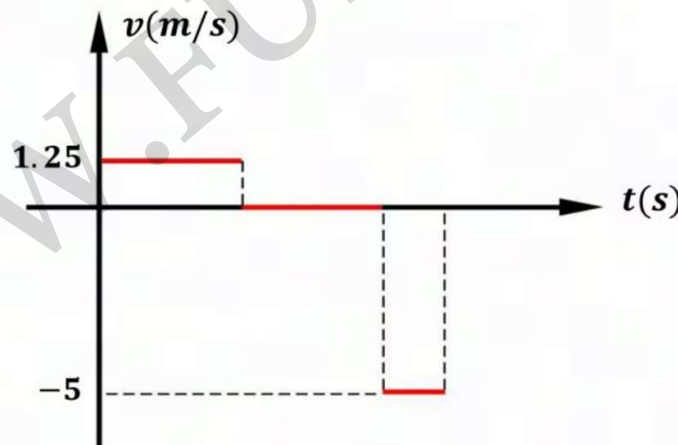
پ) با استفاده از معادله ی  $x = v_{av}t + x_0$  و قسمت (ب) همین سوال خواهیم داشت:

$$(0, 4s): v_{av} = 1.25 \frac{m}{s}, x_0 = 5m \rightarrow x = 1.25t + 5$$

$$(4, 8s): v_{av} = 0 \rightarrow x = 10m$$

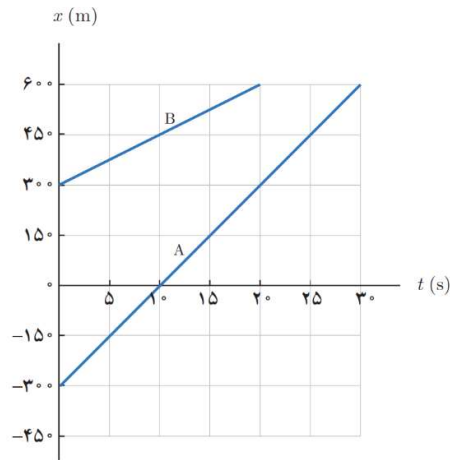
$$(8, 10s): v_{av} = -5 \frac{m}{s}, x_0 = 10m \rightarrow x = -5t + 10$$

(ع)





۱۶- شکل زیر نمودار مکان - زمان دو خودرو را نشان می‌دهد که روی خط راست حرکت می‌کنند.



الف) معادله‌ی حرکت هر یک از آن‌ها را بنویسید.  
ب) اگر خودروها با همین سرعت حرکت کنند، در چه زمان و مکانی به هم می‌رسند؟

(الف)

$$A: (0, 30s) \rightarrow v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{600 - (-300)}{20 - 0} = \frac{900}{20} = 45 \frac{m}{s}$$

$$x_0 = -300 \text{ m} \xrightarrow{x = v_{av}t + x_0} x_A = 45t - 300$$

$$B: (0, 20s) \rightarrow v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{600 - 300}{20 - 0} = \frac{300}{20} = 15 \frac{m}{s}$$

$$x_0 = 300 \text{ m} \xrightarrow{x = v_{av}t + x_0} x_B = 15t + 300$$

ب) محل برخورد خودروها یعنی نقطه‌ای که  $x_A = x_B$ :

$$x_A = x_B \rightarrow 45t - 300 = 15t + 300$$

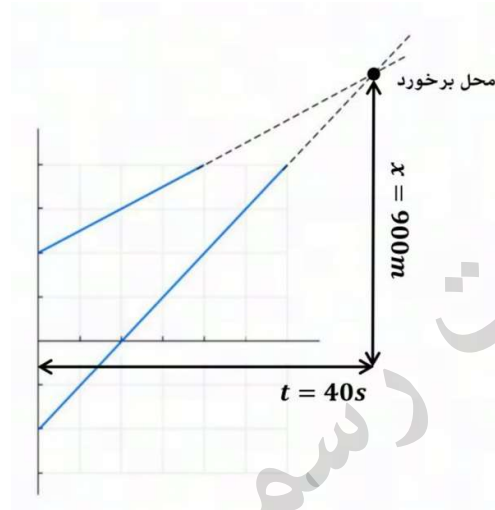
$$\rightarrow 45t - 15t = 300 + 300 \rightarrow 30t = 600 \rightarrow t = \frac{600}{30} = 20s$$

با قراردادن  $t = 20s$  در هر یک از رابطه‌های  $x_A$  و  $x_B$  محل برخورد به دست می‌آید:

$$x_A = 45t - 300 \xrightarrow{t=20s} x_A = 45 \times 20 - 300 = 900 - 300 \rightarrow x_A = 600m$$

(دقت کنید تفاوتی نمی‌کند کدام معادله! مقدار  $x$  محل برخورد از هر دو معادله یکسان به دست می‌آید.)

## تمرین دوره ای حرکت بر خط راست



۱۷- دانستن محل قرارگیری یک ماهواره در مأموریت‌های فضایی و اطمینان از اینکه ماهواره در مدار پیش‌بینی شده قرار گرفته، یکی از مأموریت‌های کارشناسان فضایی است. بدین منظور تپ‌های الکترومغناطیسی را که با سرعت نور در فضا حرکت می‌کنند، به طرف ماهواره‌ی موردنظر می‌فرستند و بازتاب آن توسط ایستگاه زمینی دریافت می‌شود. اگر زمان رفت و برگشت یک تپ ۲۴/۰ ثانیه باشد، فاصله‌ی ماهواره از ایستگاه زمینی، تقریباً چقدر است؟

-۱۷

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \rightarrow \Delta x = v \Delta t$$

چون زمان رفت و برگشت ۲۴/۰ ثانیه است:

$$\Delta t = \frac{۰/۲۴}{۲} = ۰/۱۲s$$

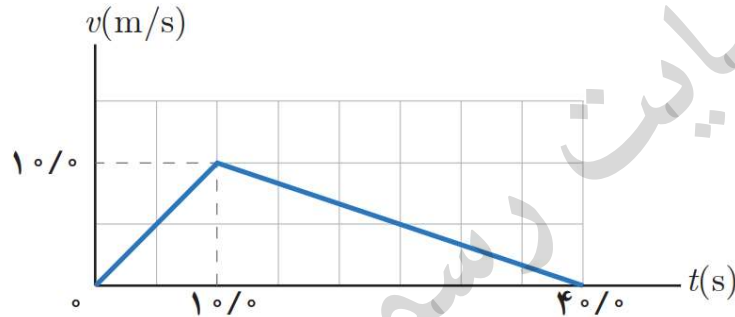
و می‌دانیم سرعت نور برابر است با:  $c = ۳ \times ۱۰^۸ \frac{m}{s}$ 

$$\rightarrow \Delta x = ۳ \times ۱۰^۸ \times ۰/۱۲ = ۳۶ \times ۱۰^۶ m = ۳۶۰۰ km$$



## ۳-۱ حرکت با شتاب ثابت

۱۸- نمودار  $v-t$  متحرکی که در امتداد محور  $x$  حرکت می کند مطابق شکل زیر است. سرعت متوسط متحرک در بازه‌ی زمانی  $0/s$  تا  $5/s$  چند برابر سرعت متوسط در بازه‌ی زمانی  $25/s$  تا  $40/s$  است؟



با توجه به نمودار مشاهده می کنیم که:

$$t = 0 \rightarrow v = 0 \frac{m}{s}$$

$$t = 25s \rightarrow v = 5 \frac{m}{s}$$

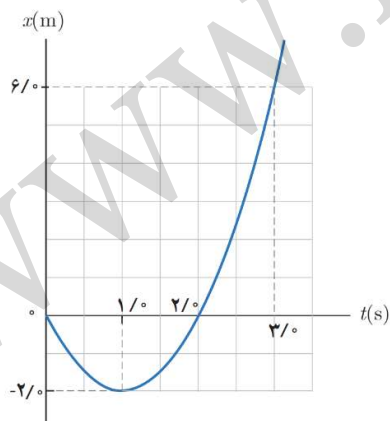
با استفاده از معادله‌ی (۹-۱) برای حرکت با شتاب ثابت داریم:

$$v_{av} = \frac{v_0 + v}{2}$$

$$v_{av}(0,5s) = \frac{0 + 5}{2} = \frac{5}{2} = 2.5 \frac{m}{s} \rightarrow \frac{v_{av}(0,5s)}{v_{av}(25,40s)} = \frac{2.5}{5} = 1$$

$$v_{av}(25,40s) = \frac{5 + 0}{2} = \frac{5}{2} = 2.5 \frac{m}{s}$$

۱۹- شکل زیر نمودار مکان - زمان متحرک را نشان می دهد که در امتداد محور  $x$  با شتاب ثابت در حرکت است.



الف) سرعت متوسط متحرک در بازه‌ی زمانی صفر تا  $3/s$  چند متر بر ثانیه است؟

ب) معادله‌ی مکان - زمان متحرک را بنویسید.

پ) سرعت متحرک را در لحظه‌ی  $t = 3/s$  پیدا کنید.

ت) نمودار سرعت - زمان متحرک را رسم کنید.



## تمرین دوره ای حرکت بر خط راست

الف) با استفاده از نمودار داریم:

$$t = 0 \rightarrow x = 0$$

$$t = 3s \rightarrow x = 6m$$

از رابطه‌ی (۱-۴) داریم:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{6 - 0}{3 - 0} = 2 \frac{m}{s}$$

ب) معادله‌ی مکان - زمان در حرکت با شتاب ثابت به فرم زیر است:

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + x_0, x_0 = 0 \rightarrow x = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t \quad (1)$$

در ادامه باید مقادیر شتاب و سرعت اولیه را به دست آوریم. از معادله‌ی (۱-۸) داریم:

$$v = at + v_0 \quad (2)$$

به نمودار دقت کنید؛ خط مماس بر نمودار در لحظه‌ی  $t = 1s$  موازی محور زمان است و بنابراین سرعت متحرک در این لحظه صفر است.با جایگذاری  $v = 0$  در رابطه‌ی (۲) به دست می‌آوریم:

$$v = at + v_0 \xrightarrow{v=0, t=1s} 0 = a \times 1 + v_0$$

$$\rightarrow a = -v_0 \quad (3)$$

همچنین با توجه به نمودار داریم:

$$t = 3s \rightarrow x = 6m$$

با جایگذاری این مقادیر در معادله‌ی (۱) به دست می‌آوریم:

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t \xrightarrow{t=3s, x=6m} 6 = \frac{1}{2}a(3)^2 + v_0 \times 3$$

$$\rightarrow 6 = \frac{9}{2}a + 3v_0 \rightarrow 2 = \frac{3}{2}a + v_0 \quad (4)$$

با جایگذاری معادله‌ی (۳)، در معادله‌ی (۴) به دست می‌آوریم:

$$2 = \frac{3}{2}a + v_0 \xrightarrow{a=-v_0} 2 = \frac{3}{2}(-v_0) + v_0 \rightarrow v_0 = -4 \frac{m}{s}$$

$$\rightarrow a = -v_0 = -(-4) = 4 \frac{m}{s^2}$$

و در نهایت با جایگذاری در معادله‌ی (۱) برای معادله‌ی حرکت خواهیم داشت:

$$x = \frac{1}{2} \times 4 \times t^2 + (-4)t = 2t^2 - 4t$$



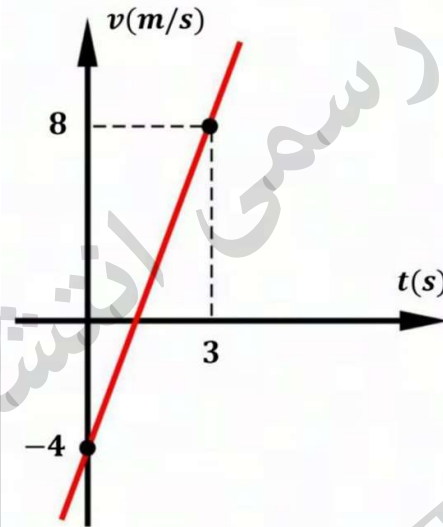


(پ) در قسمت قبل شتاب و سرعت اولیه‌ی متحرک را به دست آوردیم، بنابراین خواهیم داشت:

$$v = at + v_0$$

$$v_0 = -4 \frac{m}{s}, a = \frac{4}{3} \frac{m}{s^2} \rightarrow v = 4t - 4$$

$$v = 4t - 4 \xrightarrow{t=3s} v = 4 \times 3 - 4 = 12 - 4 = 8 \frac{m}{s}$$



(ع)

۲۰- متحرکی در امتداد محور x و با شتاب ثابت در حرکت است. در مکان  $x = +10m$  سرعت متحرک  $4 m/s$  و در مکان  $x = +19m$  سرعت متحرک  $18 km/h$  است.

الف) شتاب حرکت آن چقدر است؟

ب) پس از مدتی سرعت متحرک از  $4 m/s$  به سرعت  $18 km/h$  می‌رسد؟

- الف)

$$v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x \rightarrow a = \frac{v^2 - v_0^2}{2\Delta x}$$

یکی از سرعت‌ها بر حسب کیلومتر بر ساعت داده شده که باید به متر بر ثانیه تبدیل شود:

$$v = 18 \frac{km}{h} = 18 \div 3.6 = 5 \frac{m}{s}$$

$$v_0 = 4 \frac{m}{s}$$

$$x_0 = 10m, x = 19m$$

$$\rightarrow \Delta x = x - x_0 = 19 - 10 = 9m$$



## تمرین دوره ای حرکت بر خط راست

با جایگذاری در معادله مستقل از زمان به دست می آوریم:

$$\rightarrow a = \frac{5^2 - 4^2}{2 \times 9} = \frac{25 - 16}{18} = \frac{9}{18} = \frac{1}{2} = 0.5 \frac{m}{s^2}$$

(ب) از معادله (۸-۱) داریم:

$$v = at + v_0$$

$$\rightarrow t = \frac{v - v_0}{a} = \frac{5 - 4}{0.5} = 2s$$

۲۱- خودرویی پشت چراغ قرمز ایستاده است. با سبز شدن چراغ، خودرو با شتاب  $2 m/s^2$  شروع به حرکت می کند. در همین لحظه، کامیونی با سرعت ثابت  $36 km/h$  از آن سبقت می گیرد.

الف) در چه لحظه ای و در چه مکانی خودرو به کامیون می رسد؟

ب) نمودار مکان - زمان را برای خودرو و کامیون در یک دستگاه مختصات رسم کنید.

پ) نمودار سرعت - زمان را برای خودرو و کامیون در یک دستگاه مختصات رسم کنید.

الف) حرکت خودرو، حرکت با شتاب ثابت است:

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0$$

خودرو پشت چراغ قرمز ایستاده است، بنابراین سرعت اولیه ای آن صفر می باشد. همچنین با در نظر گرفتن چراغ قرمز به عنوان مبدأ مختصات،

مکان اولیه ای آن نیز صفر است:

$$v_0 = 0, x_0 = 0 \rightarrow x = \frac{1}{2}at^2 \xrightarrow{a = 2 \frac{m}{s^2}} x = \frac{1}{2} \times 2 \times t^2 \rightarrow x = t^2 \quad (1)$$

حرکت کامیون، حرکت با سرعت ثابت است:

$$x = vt + x_0$$

همانطور که گفتیم با در نظر گرفتن چراغ قرمز به عنوان نقطه شروع حرکت، مکان اولیه کامیون صفر است:

$$x_0 = 0 \rightarrow x = vt$$

با جایگذاری سرعت ابتدا باید یکای آن را به متر بر ثانیه تبدیل کنیم:

$$v = 36 \frac{km}{h} = 36 \div 3.6 = 10 \frac{m}{s} \rightarrow x = 10t \quad (2)$$

با برابر قرار دادن معادله های (۱) و (۲) برای زمان به هم رسیدن به دست می آوریم:

$$x = t^2, x = 10t \rightarrow t^2 = 10t \rightarrow t^2 - 10t = 0 \rightarrow t(t - 10) = 0$$



## تمرین دوره ای دوازدهم تجربی

$$\rightarrow t = 0, t - 10 = 0 \rightarrow t = 10 \text{ s}$$

در ثانیه دهم حرکت خودرو و کامیون به هم می‌رسند و  $t = 0$  زمانی است که هر دو پشت چراغ قرمز دارند.

ب) نمودار معادله‌های (۱) و (۲) را رسم می‌کنیم. ابتدا باید نقطه‌ای که خودرو و کامیون به هم می‌رسند به دست آوریم:

با جایگذاری  $t = 0, t = 10 \text{ s}$  در یکی از معادله‌های (۱) به دست می‌آوریم:

$$x = t^2 \rightarrow (0)^2 = 0, (10)^2 = 100$$

(دقت کنید تفاوتی نمی‌کند از کدام یک از معادله‌های  $x = t^2$  و  $x = 10t$  استفاده کنیم؛ مقدار  $x$  در هر دو معادله یکسان است.)

پ) کامیون با سرعت ثابت  $v = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  حرکت می‌کند. در نتیجه نمودار سرعت - زمان آن یک خط راست است.

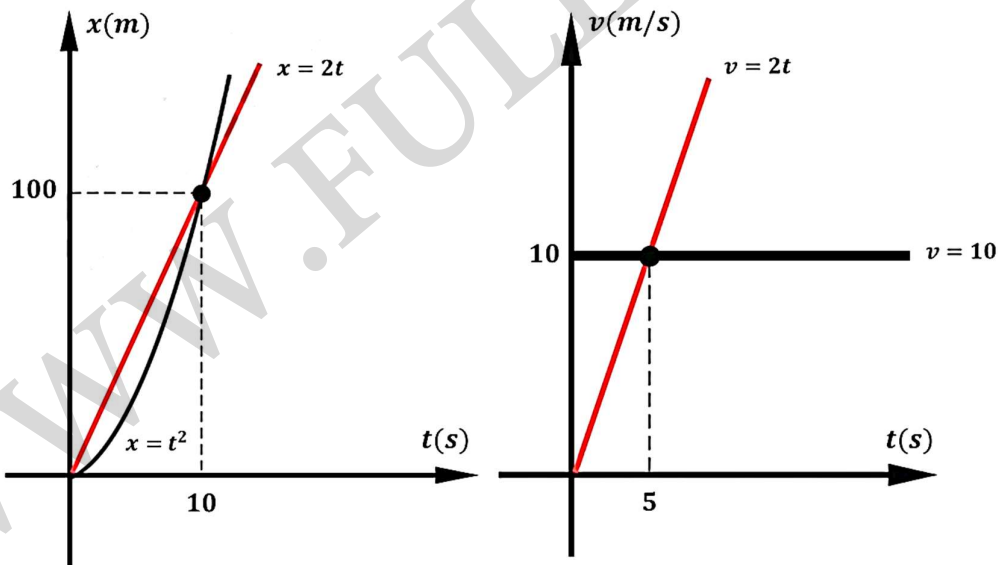
برای رسم نمودار سرعت - زمان خودرو باید معادله‌ی آن را به دست آوریم:

$$v = at + v_0 \xrightarrow{v_0 = 0, a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} v = 2t$$

با جایگذاری  $t = 0, t = 2 \text{ s}$  در رابطه‌ی بالا به دست می‌آوریم:

$$v = 2t \rightarrow \begin{cases} t = 0 \rightarrow v = 2 \times 0 = 0 \\ t = 2 \rightarrow v = 2 \times 2 = 4 \end{cases}$$

$t = 5 \text{ s}$  زمانی است که سرعت خودرو و کامیون با هم برابر است.





## تمرین دوره ای حرکت بر خط راست

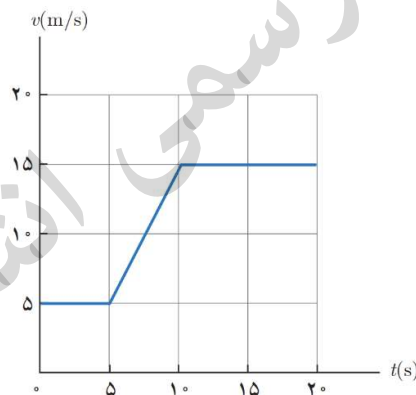
۲۲- شکل نشان داده شده نمودار سرعت - زمان خودرویی را نشان می‌دهد که روی مسیری مستقیم حرکت می‌کند.

الف) شتاب خودرو را در هر یک از لحظه‌های  $t = 3s$ ،  $t = 8s$ ،  $t = 11s$  و  $t = 15s$  به دست آورید.

ب) شتاب متوسط در بازه‌ی زمانی  $t_1 = 0s$  تا  $t_2 = 20s$  را به دست آورید.

پ) در هر یک از بازه‌های زمانی  $t_1 = 5s$  تا  $t_2 = 11s$  و  $t_1 = 11s$  تا  $t_2 = 20s$  خودرو چقدر جابه‌جا شده است؟

ت) سرعت متوسط خودرو در بازه‌های  $t_1 = 5s$  تا  $t_2 = 11s$  و  $t_1 = 11s$  تا  $t_2 = 20s$  را به دست آورید.



۲۲- الف) در بازه‌ی  $(0, 5s)$ ، سرعت حرکت خودرو ثابت و بنابراین شتاب آن صفر است. در نتیجه شتاب در لحظه‌ی  $t = 3s$  صفر می‌باشد.

در بازه‌ی  $(5, 10s)$ ، شتاب متحرک ثابت است و از رابطه‌ی  $(5-1)$  به دست می‌آید:

$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{15 - 5}{10 - 5} = \frac{10}{5} = 2 \frac{m}{s^2}$$

در نتیجه:

$$t = 8s \rightarrow a_{av} = 2 \frac{m}{s^2}$$

در بازه‌ی  $(10, 20s)$ ، سرعت حرکت خودرو ثابت و بنابراین شتاب آن صفر است. در نتیجه شتاب در لحظه‌های  $t = 11s$  و  $t = 15s$  صفر

می‌باشد.

ب) در این قسمت نیز با استفاده از رابطه‌ی  $(5-1)$  داریم:

$$a_{av} = \frac{15 - 5}{20 - 10} = \frac{10}{20} = 0.5 \frac{m}{s^2}$$

پ) جابه‌جایی متحرک برابر با سطح زیر نمودار سرعت - زمان است.

بازه‌ی  $(5, 11s)$ :



## تمرین دوره ای دوازدهم تجربی

$$\Delta x = S_{v-t} = S_{\text{مستطیل}} + S_{\text{ذوزنقه}}$$

$$S_{\text{ذوزنقه}} = \frac{(5+15) \times 5}{2} = 50 \text{ m}, S_{\text{مستطیل}} = 15 \times 1 = 15 \text{ m}$$

و در پایان جابه جایی کل از جمع جابه جایی ها به دست می آید:

$$\rightarrow \Delta x = 50 + 15 = 65 \text{ m}$$

بازه ی (۱۱, ۲۰s):

$$\Delta x = S_{v-t} = 15 \times 9 = 135 \text{ m}$$

(سطح مورد نظریک مستطیل است که عرض آن برابر است با: ۹ = ۲۰ - ۱۱)

ب) در قسمت (پ) مقدار جابه جایی در هر بازه را به دست آوریم؛ در نتیجه برای سرعت متوسط با استفاده از رابطه ی  $v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$  خواهیم داشت:

داشت:

بازه ی (۱۱, ۲۰s):

$$v_{av} = \frac{60}{11-5} = \frac{60}{6} = 10 \text{ m/s}$$

بازه ی (۱۱, ۲۰s):

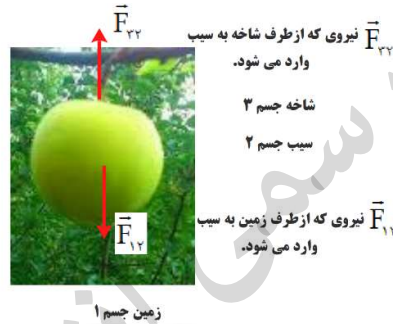
$$v_{av} = \frac{135}{20-11} = \frac{135}{9} = 15 \text{ m/s}$$



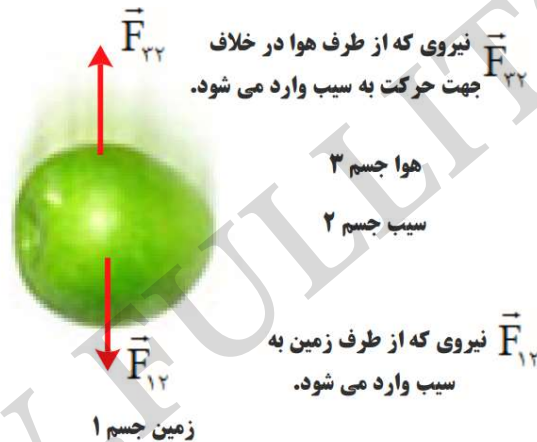
## فصل ۲

## ۲-۱ و ۲-۲ قوانین حرکت نیوتون و معرفی برخی از نیروهای خاص

- ۱- سببی را در نظر بگیرید که به شاخه‌ی درختی آویزان است و سپس از درخت جدا می‌شود.  
الف) با رسم شکل نیروهای وارد بر سیب را قبل و بعد از جدا شدن از درخت نشان دهید.  
ب) در هر حالت واکنش این نیروها بر چه اجسامی وارد می‌شود؟



واکنش	کنش
نیروی که از طرف سیب به زمین وارد می‌شود.	نیروی که از طرف زمین به سیب وارد می‌شود.
نیروی که از طرف سیب به شاخه وارد می‌شود.	نیروی که از طرف شاخه به سیب وارد می‌شود.



واکنش	کنش
نیروی که از طرف سیب به زمین وارد می‌شود.	نیروی که از طرف زمین به سیب وارد می‌شود.
نیروی که از طرف سیب به هوا وارد می‌شود.	نیروی که از طرف هوا به سیب وارد می‌شود.



۲- دانش آموزی به جرم  $50 \text{ kg}$  روی یک ترازوی فنری در آسانسور ایستاده است. در هر یک از حالت‌های زیر این ترازو چند نیوتون را نشان می‌دهد؟ ( $g = 9.8 \text{ N/kg}$ )

الف) آسانسور ساکن است.

ب) آسانسور با سرعت ثابت حرکت می‌کند.

پ) آسانسور با شتاب  $1/2 \text{ m/s}^2$  به طرف بالا شروع به حرکت می‌کند.

ت) آسانسور با شتاب  $1/2 \text{ m/s}^2$  به طرف پایین شروع به حرکت می‌کند.

نکته‌ی مهم: نیرویی که ترازو نشان می‌دهد، نیروی عکس‌العمل سطح ( $N$ ) است.

الف) با استفاده از قانون دوم نیوتن داریم:

$$m = 50 \text{ kg}, \quad g = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

چون آسانسور ساکن است و شتاب صفر است:

$$F_N - mg = 0 \rightarrow F_N = mg = 50 \times 9.8 = 490 \text{ N}$$

ب) چون آسانسور با سرعت ثابت حرکت می‌کند و شتاب صفر است:

$$F_N - mg = 0 \rightarrow F_N = mg = 50 \times 9.8 = 490 \text{ N}$$

پ) با توجه به شکل داریم:

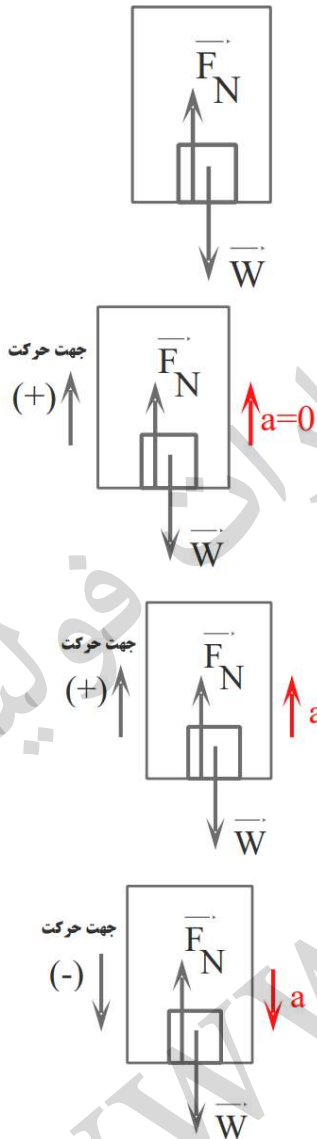
$$F_N - mg = ma \rightarrow F_N = ma + mg = m(a + g)$$

$$a = 1/2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \rightarrow F_N = 50 \times (1/2 + 9.8) = 550 \text{ N}$$

ت) با توجه به شکل داریم:

$$F_N - mg = -ma \rightarrow F_N = ma - mg = m(a - g)$$

$$a = 1/2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \rightarrow F_N = 50 \times (9.8 - 1/2) = 430 \text{ N}$$





## دوره نهایی فول فیزیک

۳- در شکل نشان داده شده، شخص با نیروی  $200\text{ N}$  جسم  $90\%$  کیلوگرمی را هل می‌دهد، اما جسم ساکن می‌ماند. ولی وقتی با نیروی  $300\text{ N}$  جسم را هل می‌دهد، جسم در آستانه‌ی حرکت قرار می‌گیرد.



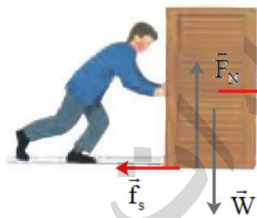
الف) نیروی اصطکاک ایستایی بین جسم و سطح در هر حالت چقدر است؟

ب) ضریب اصطکاک ایستایی بین جسم و سطح چقدر است؟

پ) اگر پس از حرکت، شخص با نیروی  $200\text{ N}$  جسم را هل دهد و ضریب اصطکاک جنبشی بین

سطح و جسم  $0.20$  باشد، شتاب حرکت جسم چقدر خواهد شد؟

الف) جسم ساکن می‌ماند:

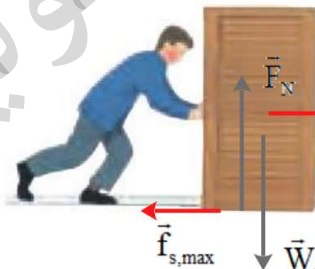


$$F - f_s = 0 \rightarrow F = f_s = 200\text{ N}$$

جسم در آستانه‌ی حرکت قرار می‌گیرد:

$$F - f_{s\max} = 0 \rightarrow F = f_{s\max} = 300\text{ N}$$

ب)



$$m = 90\text{ kg}, \quad g = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

در آستانه‌ی حرکت داریم:

$$F = f_{s\max} = \mu_s F_N = \mu_s mg$$

$$\rightarrow \mu_s = \frac{f_{s\max}}{mg} = \frac{300}{90 \times 9.8} = 0.34$$

پ)

$$F = 200\text{ N}, \quad \mu_k = 0.2$$

در حرکت با شتاب ثابت و با استفاده از رابطه‌ی (۱-۲) داریم:

$$\vec{F}_{\text{net}} = m\vec{a} \rightarrow F - f_k = ma \rightarrow a = \frac{F - f_k}{m}$$

نیروی اصطکاک ایستایی را به شکل زیر و با استفاده از رابطه‌ی (۶-۲) محاسبه می‌کنیم:

$$f_k = \mu_k F_N = \mu_k mg = 0.2 \times 90 \times 9.8 = 176.4\text{ N}$$

و در نهایت برای شتاب به دست می‌آوریم:



## دوره نهایی فول فیزیک



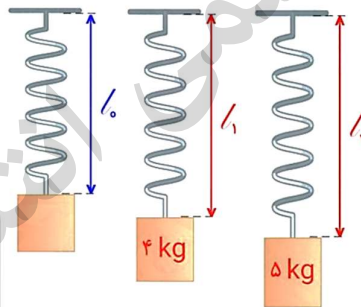
$$\rightarrow a = \frac{200 - 176 / 4}{90} = 0.26 \frac{m}{s^2}$$

۴- در شکل روبه‌رو وقتی وزنه‌ی  $4 \text{ kg}$  را به فنر آویزان می‌کنیم، طول فنر  $14 \text{ cm}$  می‌شود، و وقتی وزنه‌ی  $5 \text{ kg}$  را به فنر آویزان می‌کنیم، طول فنر  $15 \text{ cm}$  می‌شود.

الف) ثابت فنر چقدر است؟ ب) طول عادی فنر (بدون وزنه) چند سانتی‌متر است؟  
روش اول:

ابتدا طول عادی فنر را به‌دست می‌آوریم و سپس با استفاده از آن ثابت فنر را محاسبه می‌کنیم.

داریم:  $F_e = kx$  و نیز می‌دانیم نیروی وزن باعث افزایش طول فنر می‌شود:  $F_e = mg$



$$\begin{cases} F_e = kx \\ F_e = mg \end{cases} \rightarrow kx = mg \rightarrow k = \frac{mg}{x} \quad (1)$$

برای وزنه‌ی  $4 \text{ kg}$  کیلوگرمی داریم:

$$x_1 = l_1 - l_0 = 14 - l_0, \quad m_1 = 4 \text{ kg}, \quad g = 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$\xrightarrow{(1)} k = \frac{m_1 g}{x_1} = \frac{4 \times 9.8}{14 - l_0} \quad (2)$$

و برای وزنه‌ی  $5 \text{ kg}$  کیلوگرمی داریم:

$$x_2 = l_2 - l_0 = 15 - l_0, \quad m_2 = 5 \text{ kg}, \quad g = 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$\xrightarrow{(1)} k = \frac{m_2 g}{x_2} = \frac{5 \times 9.8}{15 - l_0} \quad (3)$$

در هر دو حالت ثابت فنر یکسان است؛ پس با برابر قرار دادن رابطه‌های (۲) و (۳) طول اولیه‌ی فنر را به‌دست می‌آوریم:

$$\xrightarrow{(1)=(2)} \frac{4 \times 9.8}{14 - l_0} = \frac{5 \times 9.8}{15 - l_0} \rightarrow 4 \times (15 - l_0) = 5 \times (14 - l_0)$$

$$\rightarrow 60 - 4l_0 = 70 - 5l_0 \rightarrow l_0 = 70 - 60 = 10 \text{ cm}$$

با استفاده از مقدار  $l_0$  و رابطه‌های (۲) و (۳) می‌توان ثابت فنر را محاسبه کرد:



## دوره نهایی فول فیزیک

$$x = 14 - 10 = 4 \text{ cm} \xrightarrow{(2)} k = \frac{m_1 g}{x_1} = \frac{4 \times 9/8}{4} = 9/8 \frac{\text{N}}{\text{cm}}$$

در این سوال مشخص نشده که واحد  $k$  دقیقاً بر حسب نیوتن بر متر باشد یا نیوتن بر سانتی متر و ما هر دو را محاسبه می کنیم:

$$x = 0.14 - 0.1 = 0.04 \xrightarrow{(2)} k = \frac{m_1 g}{x_1} = \frac{4 \times 9/8}{0.04} = 980 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

روش دوم:

توجه کنید که منطق ما برای حل مسئله در دو روش گفته شده یکی است و فقط تفاوت در محاسبات ریاضی است.

(الف)

$$m_1 = 4 \text{ kg}, \quad m_2 = 5 \text{ kg}, \quad l_2 = 15 \text{ cm}, \quad l_1 = 14 \text{ cm}$$

با استفاده از رابطه ی (۷-۲) داریم:  $F_e = kx$  و نیز می دانیم نیروی وزن باعث افزایش طول فنر می شود:

$$F_e = mg$$

$$\begin{cases} F_e = kx \\ F_e = mg \end{cases} \rightarrow kx = mg \rightarrow \begin{cases} k(l_1 - l_0) = m_1 g \\ k(l_2 - l_0) = m_2 g \end{cases}$$

دستگاه دو معادله دو مجهول بالا را به روش حذفی حل می کنیم تا مقادیر  $k$  و  $l_0$  به دست آیند. برای این منظور باید معادله ی اول را در عدد  $(-1)$  ضرب کنیم:

$$\rightarrow \begin{cases} [k(l_1 - l_0) = m_1 g] \times (-1) \\ k(l_2 - l_0) = m_2 g \end{cases} \rightarrow \begin{cases} -kl_1 + kl_0 = -m_1 g \\ kl_2 - kl_0 = m_2 g \end{cases}$$

از جمع معادله های بالا به دست می آوریم:

$$k(l_2 - l_1) = (m_2 - m_1)g \rightarrow k = \frac{(m_2 - m_1)g}{l_2 - l_1}$$

با جایگذاری مقادیر داده شده در صورت مسئله خواهیم داشت:

$$\rightarrow k = \frac{(5 - 4) \times 9/8}{15 - 14} = \frac{1 \times 9/8}{1} = 9/8 \frac{\text{N}}{\text{cm}} = 980 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

(ب) با قرار دادن مقدار  $k$  در یکی از معادلات بالا  $l_0$  به دست می آید:

$$k(l_1 - l_0) = m_1 g \xrightarrow{k=9/8} 9/8(14 - l_0) = 4 \times 9/8 \\ \rightarrow 14 - l_0 = 4 \rightarrow l_0 = 14 - 4 = 10 \text{ cm}$$

## دوره نهایی فول فیزیک



۵- در هر یک از موارد زیر، نیروهای وارد بر جسم را مشخص کنید. واکنش هر یک از این نیروها به چه جسمی وارد می‌شود؟

الف) خودرویی با سرعت ثابت در یک مسیر مستقیم افقی در حال حرکت است.

ب) کشتی‌ای با سرعت ثابت در حال حرکت است.

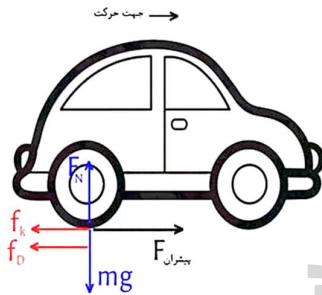
پ) قایقرانی در حال پارو زدن است.

ت) چتربازی در هوای آرام و در امتداد قائم در حال سقوط است.

ث) هواپیمایی در یک سطح پروازی افقی با سرعت ثابت در حال حرکت است.

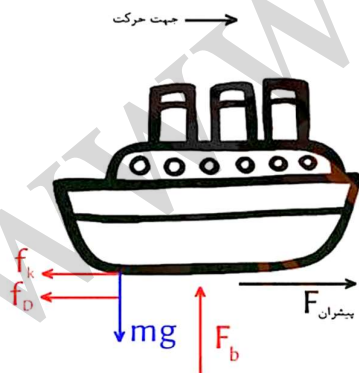
ج) توپی در راستای قائم به زمین بر خورد می‌کند و برمی‌گردد.

الف) خودرو



نیروی پیشران نیرویی است که توسط موتور خودرو تولید می‌گردد و باعث حرکت خودرو به سمت جلو می‌شود.

واکنش	کنش
نیروی گرانشی که خودرو به زمین وارد می‌کند. (رابطه ی ۱۳-۲ $W = G \frac{M_e m}{R_e^2}$ )	نیروی وزن یا گرانشی که زمین به خودرو وارد می‌کند ( $W = mg$ ).
نیروی عمودی که خودرو به سطح جاده وارد می‌کند.	نیروی عمودی تکیه‌گاه که سطح جاده به خودرو وارد می‌کند ( $F_N$ )
نیرویی که از طرف خودرو در جهت حرکت آن به زمین وارد می‌شود.	نیروی اصطکاک جنبشی که از طرف زمین در خلاف جهت حرکت خودرو به آن وارد می‌شود. ( $f_k = \mu_k F_N$ )
نیرویی که از طرف خودرو به مولکول‌های هوا در جهت حرکت آن وارد می‌شود.	نیروی مقاومت هوا که از طرف مولکول‌های هوا در خلاف جهت حرکت خودرو به آن وارد می‌شود. ( $f_D$ )



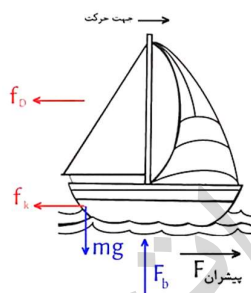
ب) کشتی

نیروی پیشران نیرویی است که توسط موتور کشتی تولید می‌گردد و باعث حرکت کشتی به سمت جلو می‌شود.



## دوره نهایی فول فیزیک

واکنش	کنش
نیروی گرانشی که کشتی به زمین وارد می‌کند. (رابطه‌ی ۱۳-۲) $(W = G \frac{M_e m}{R_e^2})$	نیروی وزن یا گرانشی که زمین به کشتی وارد می‌کند. ( $W = mg$ )
نیروی که کشتی به آب وارد می‌کند.	نیروی شناوری که آب به کشتی وارد می‌کند ( $F_b$ )
نیروی که از طرف کشتی در جهت حرکت آن به آب وارد می‌شود.	نیروی اصطکاک جنبشی که از طرف آب در خلاف جهت حرکت کشتی به آن وارد می‌شود. ( $f_k = \mu_k F_N$ )
نیروی که از طرف کشتی به مولکول‌های هوا در جهت حرکت آن وارد می‌شود.	نیروی مقاومت هوا که از طرف مولکول‌های هوا در خلاف جهت حرکت کشتی به آن وارد می‌شود. ( $f_D$ )



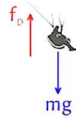
ث) قایقران؛ در این مورد قایق و قایقران و پارو را یک جسم (قایق) در نظر می‌گیریم. نیروی پیشران نیرویی است که توسط پارو زدن قایقران ایجاد می‌گردد و باعث حرکت قایق به سمت جلو می‌شود.

واکنش	کنش
نیروی گرانشی که قایق به زمین وارد می‌کند. (رابطه‌ی ۱۳-۲) $(W = G \frac{M_e m}{R_e^2})$	نیروی وزن یا گرانشی که زمین به قایق وارد می‌کند. ( $W = mg$ )
نیروی که آب به قایق وارد می‌کند.	نیروی شناوری که آب به قایق وارد می‌کند ( $F_b$ )
نیروی که از طرف قایق در جهت حرکت آن به آب وارد می‌شود.	نیروی اصطکاک جنبشی که از طرف آب در خلاف جهت حرکت قایق به آن وارد می‌شود. ( $f_k = \mu_k F_N$ )
نیروی که از طرف قایق به مولکول‌های هوا در جهت حرکت آن وارد می‌شود.	نیروی مقاومت هوا که از طرف مولکول‌ها هوا در خلاف جهت حرکت قایق به آن وارد می‌شود. ( $f_D$ )

## دوره نهایی فول فیزیک

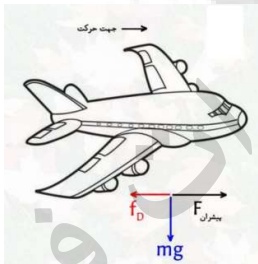


(ت) چتر باز

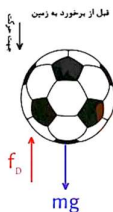


کنش	واکنش
نیروی وزن یا گرانشی که زمین به چتر باز وارد می کند ( $W = mg$ )	نیروی گرانشی که چتر باز به زمین وارد می کند. ( رابطه ی ۱۳-۲ ) $W = G \frac{M_e m}{R_e^2}$
نیروی مقاومت هوا که از طرف مولکول های هوا در خلاف جهت حرکت (رو به بالا) به آن وارد می شود. ( $f_D$ )	نیروی که از طرف چتر باز به مولکول های هوا در جهت حرکت (رو به پایین) آن وارد می شود.

(ث) هواپیما؛ نیروی پیشران نیرویی است که توسط موتور هواپیما ایجاد و باعث حرکت آن به سمت جلو می شود.



کنش	واکنش
نیروی وزن یا گرانشی که زمین به هواپیما وارد می کند ( $W = mg$ )	نیروی گرانشی که هواپیما به زمین وارد می کند. ( رابطه ی ۱۳-۲ ) $W = G \frac{M_e m}{R_e^2}$
نیروی مقاومت هوا که از طرف مولکول های هوا در خلاف جهت حرکت هواپیما به آن وارد می شود. ( $f_D$ )	نیروی که از طرف هواپیما به مولکول های هوا در جهت حرکت آن وارد می شود.



(ث) توپ

کنش	واکنش
قبل از برخورد به زمین	



## دوره نهایی فول فیزیک

نیروی وزن یا گرانشی که زمین به توپ وارد می‌کند ( $W = mg$ )	نیروی گرانشی که توپ به زمین وارد می‌کند. (رابطه ی ۱۳-۲) $(W = G \frac{M_e m}{R_e^2})$
نیروی مقاومت هوا که از طرف مولکول‌های هوا در خلاف جهت حرکت توپ (رو به بالا) به آن وارد می‌شود. ( $f_D$ )	نیروی که از طرف توپ به مولکول‌های هوا در جهت حرکت آن (رو به پایین) وارد می‌شود.
بعد از برخورد به زمین	
نیروی وزن یا گرانشی که زمین به توپ وارد می‌کند ( $W = mg$ )	نیروی گرانشی که توپ به زمین وارد می‌کند. (رابطه ی ۱۳-۲) $(W = G \frac{M_e m}{R_e^2})$
نیروی مقاومت هوا که از طرف مولکول‌های هوا در خلاف جهت حرکت توپ (رو به پایین) به آن وارد می‌شود. ( $f_D$ )	نیروی که از طرف توپ به مولکول‌های هوا در جهت حرکت آن (رو به بالا) وارد می‌شود.

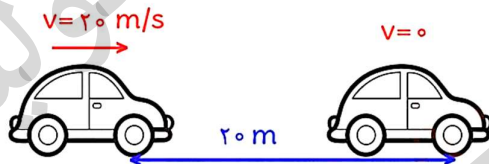
۶- راننده‌ی خودرویی که با سرعت  $72 \text{ km/h}$  در یک مسیر مستقیم در حال حرکت است، با دیدن مانعی اقدام به ترمز می‌کند و خودرو پس از طی مسافت  $20 \text{ m}$  متوقف می‌شود.

الف) شتاب خودرو در مدت ترمز چقدر است؟

ب) از لحظه‌ی ترمز تا توقف کامل خودرو، چقدر طول می‌کشد؟

پ) نیروی اصطکاک بین لاستیک‌ها و سطح چقدر است؟

جرم خودرو را  $1200 \text{ kg}$  در نظر بگیرید.



الف) از رابطه‌ی سرعت — جابه‌جایی (مستقل از زمان) در حرکت با شتاب ثابت استفاده می‌کنیم:

$$v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x \quad (*)$$

چون اتومبیل ترمز می‌کند و در نهایت متوقف می‌شود:  $v = 0$

$$v = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 72 \div 3.6 = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad \Delta x = 20 \text{ m}$$

$$(*) \rightarrow -v_0^2 = 2a\Delta x \rightarrow -(20)^2 = 2 \times a \times 20 \rightarrow a = -10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

ب) از رابطه‌ی سرعت — زمان به‌دست می‌آوریم:

$$v = at + v_0 \rightarrow t = \frac{v - v_0}{a} = \frac{0 - 20}{-10} = 2 \text{ s}$$

پ)



## دوره نهایی فول فیزیک

$$\vec{F}_{\text{net}} = m\vec{a} \rightarrow F - f_k = ma$$

F نیروی پیشران است که با ترمز کردن صفر می‌شود:

$$\rightarrow -f_k = ma \rightarrow f_k = -ma = -1200 \times (-10) = 12000 \text{ N}$$

توجه کنید که نیروی اصطکاک نیروی مقاوم است و علامت نیروهای مقاوم همواره منفی است.

۷- چتربازی از یک بالگرد تقریباً ساکن که در ارتفاع نسبتاً زیادی قرار دارد، به بیرون می‌پرد و پس از مدتی چتر خود را باز می‌کند و در امتداد قائم سقوط می‌کند. حرکت چتر باز را از لحظه‌ی پرش تا رسیدن به زمین تحلیل کنید و نموداری تقریبی از تندی آن بر حسب زمان رسم کنید.

این سوال مشابه مثال (۲-۴) صفحه‌ی ۳۴ کتاب درسی است.

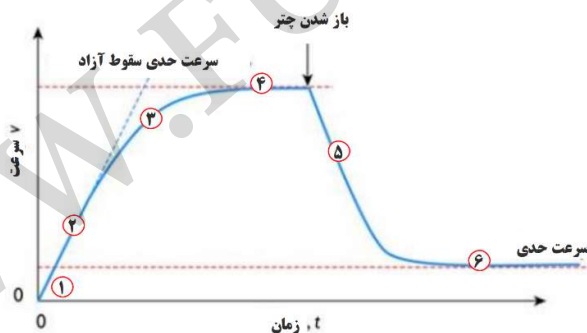
چون بالگرد ساکن است، سرعت اولیه‌ی چتر باز صفر است و حرکت آن تا پیش از باز شدن چترش، حرکت سقوط آزاد بدون سرعت اولیه است. دقت کنید با افزایش سرعت چتر باز نیروی مقاومت هوا هم افزایش می‌یابد و حرکت سقوط چتر باز شتاب ثابت نیست ولی چون افزایش نیروی مقاومت هوا کم است تقریباً شیب نمودار سرعت زمان خطی است. در این سوال فرض کرده‌ایم تا قبل از باز شدن چتر تندی چتر باز به سرعت حدی خود رسیده است. جایی که نیروی مقاومت هوا با وزن چتر باز برابر می‌شود. به محض باز شدن چتر، نیروی مقاومت هوا افزایش می‌یابد و از نیروی وزن چتر باز بیشتر شده و در نتیجه چتر باز رو به بالا حرکت می‌کند:

$$f_D - W = ma \rightarrow a = \frac{f_D - mg}{m}, \quad f_D > mg \rightarrow a > 0$$

$$v = at_f + v_0$$

$t_f$  مدت زمان حرکت چتر باز رو به بالاست.

تندی چتر باز به تدریج کم شده و در نتیجه نیروی مقاومت هوا نیز کم می‌شود تا جایی که این نیرو با نیروی وزن هم‌اندازه می‌شود ( $f_D = mg$ ). پس از این چتر باز با سرعت ثابتی که به آن تندی حدی می‌گویند به طرف پایین حرکت می‌کند.

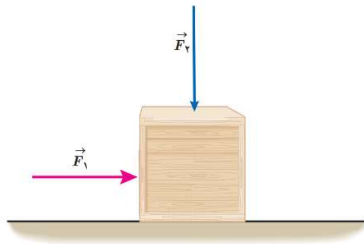


توجه: حرکت چتر باز از لحظه‌ای که پای او به زمین می‌رسد تا توقف کامل یک حرکت شتابدار است که در نمودار سرعت - زمان بالا رسم نشده است.



## دوره نهایی فول فیزیک

۸- در شکل، نیروی  $F_1$  به بزرگی  $20\text{ N}$  بر جعبه وارد شده است، اما جعبه همچنان ساکن است. اگر در همین حالت بزرگی نیروی قائم  $\vec{F}_1$  که جعبه را به زمین می فشارد از صفر شروع به افزایش کند، کمیت‌های زیر چگونه تغییر می کنند؟



- الف) اندازه‌ی نیروی عمودی سطح وارد بر جعبه  
ب) اندازه‌ی نیروی اصطکاک ایستایی وارد بر جعبه  
پ) اندازه‌ی بیشینه‌ی نیروی اصطکاک ایستایی  
ت) نیروی خالص وارد بر جسم

در راستای عمودی داریم:

$$F_N - W - F_1 = 0 \rightarrow F_N = W + F_1$$

بنابراین نیروی عمودی سطح وارد بر جعبه افزایش می یابد.

ب) چون جعبه ساکن است، داریم:

$$F_1 - f_s = 0 \rightarrow F_1 = f_s$$

بنابراین نیروی اصطکاک ایستایی تغییر نمی کند.

پ)

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

در قسمت الف) نشان دادیم  $F_N$  افزایش می یابد، بنابراین  $f_{s \max}$  نیز زیاد می شود.

ت) چون جعبه در هر دو راستای افقی و عمودی  $(y, x)$  حرکتی ندارد، نیروی خالص وارد بر آن صفر است.

۹- می خواهیم به جسمی که جرم آن  $5\text{ kg}$  است، شتاب  $2\text{ m/s}^2$  بدهیم. در هر یک از حالت‌های زیر، نیرویی را که باید به جسم وارد کنیم، محاسبه کنید. از مقاومت هوا صرف نظر می شود.

الف) جسم روی سطح افقی بدون اصطکاک حرکت کند.

ب) جسم روی سطح افقی با ضریب اصطکاک  $0.2$  به طرف راست حرکت کند، و شتابش نیز به طرف راست باشد.

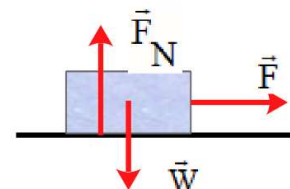
پ) جسم در راستای قائم با شتاب رو به بالا شروع به حرکت کند.

ت) جسم در راستای قائم با شتاب رو به پایین شروع به حرکت کند.

الف)

$$m = 5\text{ kg}, \quad a = 2\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\vec{F}_{\text{net}} = m\vec{a} \xrightarrow{\text{روی سطح افقی}} F = ma = 5 \times 2 = 10\text{ N}$$





## دوره نهایی فول فیزیک



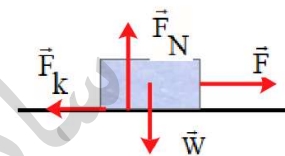
(ب)

$$\vec{F}_{\text{net}} = m\vec{a} \xrightarrow{\text{روی سطح افقی}} F - f_k = ma \rightarrow F = ma + f_k \quad (1)$$

$$f_k = \mu_k F_N = \mu_k W = \mu_k mg \quad (2)$$

$$\xrightarrow{(1),(2)} F = ma + \mu_k mg = m(a + \mu_k g)$$

$$\mu_k = 0.2 \rightarrow F = 5 \times (2 + 0.2 \times 9.8) = 19.9 \text{ N}$$

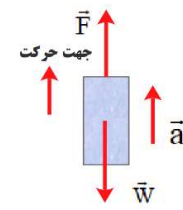


(پ) در حرکت در راستای قائم (رو به بالا یا پایین) نیروی عمودی تکیه‌گاه صفر می‌شود.

$$\vec{F}_{\text{net}} = m\vec{a} \xrightarrow{\text{در راستای قائم رو به بالا}} F - W = ma$$

$$\rightarrow F = ma + W = m(a + g)$$

$$\rightarrow F = 5 \times (2 + 9.8) = 59 \text{ N}$$

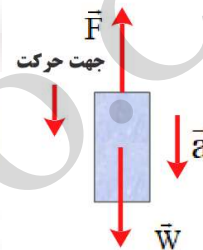


(ت)

$$\vec{F}_{\text{net}} = m\vec{a} \xrightarrow{\text{در راستای قائم رو به پایین}} F - W = -ma$$

$$\rightarrow F = W - ma = m(g - a)$$

$$\rightarrow F = 5 \times (9.8 - 2) = 39 \text{ N}$$



۱۰- قطعه چوبی را با سرعت افقی  $10 \text{ m/s}$  روی سطحی افقی پرتاب می‌کنیم. ضریب اصطکاک جنبشی بین چوب و سطح  $0.20$  است.

(الف) چوب پس از پیمودن چه مسافتی می‌ایستد؟

(ب) اگر از یک قطعه چوب دیگر استفاده کنیم که جرم آن دو برابر جرم قطعه چوب اول و ضریب اصطکاک جنبشی آن با سطح افقی با اولی یکسان باشد و با همان سرعت پرتاب شود، مسافت پیموده شده‌ی آن چند برابر می‌شود؟

(الف) از رابطه‌ی سرعت - جابه‌جایی در حرکت با شتاب ثابت استفاده می‌کنیم:

$$v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x$$

چون چوب در نهایت می‌ایستد:  $v = 0$

$$-v_0^2 = 2a\Delta x \rightarrow \Delta x = -\frac{v_0^2}{2a} \quad (1)$$

برای به‌دست آوردن شتاب از رابطه‌ی (۱-۲) استفاده می‌کنیم:  $\vec{F}_{\text{net}} = m\vec{a}$   
می‌دانیم نیروی اصطکاک باعث توقف چوب می‌شود:



## دوره نهایی فول فیزیک

$$-f_k = ma$$

برای نیروی اصطکاک داریم:

$$f_k = \mu_k F_N = \mu_k W = \mu_k mg$$

$$\rightarrow \mu_k mg = ma \rightarrow -\mu_k g = a \quad (2)$$

در پایان:

$$\xrightarrow{(1),(2)} \Delta x = -\frac{v_o^2}{2 \times (-\mu_k g)} = -\frac{(10)^2}{2 \times (-0.2 \times 9.8)}$$

$$\rightarrow \Delta x = \frac{100}{3.92} = 25.5 \text{ m}$$

ب) تغییر نمی‌کند. زیرا رابطه‌های (۱) و (۲) که در قسمت (الف) به‌دست آوردیم، مستقل از جرم جسم هستند. در نتیجه شتاب حرکت چوب و جابه‌جایی آن به جرم جسم بستگی ندارند.

۱۱- وزنه‌ای به جرم  $2 \text{ kg}$  را به انتهای فنری به طول  $12 \text{ cm}$  که ثابت آن  $2 \text{ N/cm}$  است، می‌بندیم و فنر را از سقف یک آسانسور آویزان می‌کنیم. طول فنر را در حالت‌های مختلف محاسبه کنید.

الف) آسانسور ساکن است.

ب) آسانسور با سرعت ثابت  $2 \text{ m/s}$  رو به پایین در حرکت است.

پ) آسانسور با شتاب ثابت  $2 \text{ m/s}^2$  از حال سکون رو به پایین شروع به حرکت کند.

ت) آسانسور با شتاب ثابت  $2 \text{ m/s}^2$  از حال سکون رو به بالا شروع به حرکت کند.

$$m = 2 \text{ kg}, \quad l = 12 \text{ cm} = 0.12 \text{ m}$$

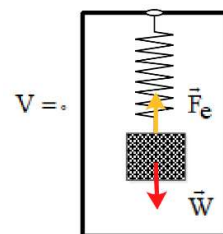
$$k = 20 \frac{\text{N}}{\text{cm}} = 20 \times \frac{1}{10^{-2}} = 2000 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

الف) با استفاده از رابطه‌ی (۷-۲) داریم:  $F_e = kx$  و نیز می‌دانیم نیروی وزن باعث افزایش طول فنر می‌شود:

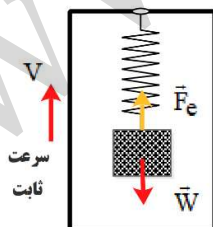
$$F_e = mg$$

$$\begin{cases} F_e = kx \\ F_e = mg \end{cases} \rightarrow kx = mg \rightarrow k(l - l_0) = mg \rightarrow l = \frac{mg}{k} + l_0$$

$$\rightarrow l = \frac{2 \times 9.8}{2000} + 0.12 = 0.1298 \text{ m} = 12.98 \text{ cm}$$



ب) در حرکت با سرعت ثابت شتاب صفر است و حل مسئله مانند قسمت (الف) خواهد بود.



## دوره نهایی فول فیزیک

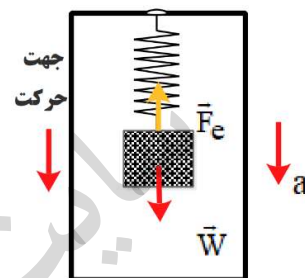


پ) در حرکت رو به پایین داریم:

$$F_e - mg = -ma \rightarrow F_e = mg - ma$$

$$\rightarrow k(l - l_0) = m(g - a) \rightarrow l = \frac{m(g - a)}{k} + l_0$$

$$\rightarrow l = \frac{2 \times (9/8 - 2)}{2000} + 0/12 = 0/1278m = 12/78cm$$

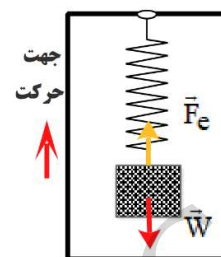


ت) در حرکت رو به بالا داریم:

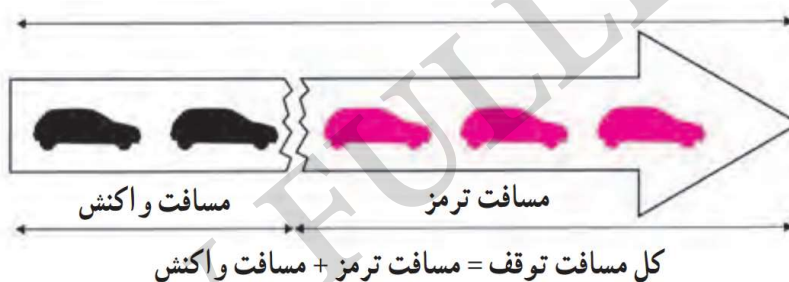
$$F_e - mg = ma \rightarrow F_e = ma + mg$$

$$\rightarrow k(l - l_0) = m(a + g) \rightarrow l = \frac{m(a + g)}{k} + l_0$$

$$\rightarrow l = \frac{2 \times (2 + 9/8)}{2000} + 0/12 = 0/1318m = 13/18cm$$



۱۲- برای یک راننده دانستن کل مسافت توقف خودرو اهمیت دارد. همان طور که شکل نشان می دهد کل مسافت توقف، دو قسمت دارد؛ مسافت واکنش (مسافتی که خودرو از لحظه دیدن مانع تا ترمز گرفتن طی می کند) و مسافت ترمز (مسافتی که خودرو از لحظه ترمز گرفتن تا توقف کامل طی می کند).



الف) دو عامل مؤثر در مسافت واکنش را بنویسید.

ب) زمان واکنش راننده ای ۰/۶s است. در طی این زمان، خودرو مسافت ۱۸m را طی می کند. با فرض ثابت بودن سرعت در این مدت، اندازه ی آن را حساب کنید.

پ) اگر در این سرعت راننده ترمز کند و خودرو پس از ۵/۰s متوقف شود، مسافت ترمز و شتاب خودرو را حساب کنید.

ت) وقتی خودرو ترمز می کند، نیروی خالص وارد بر آن چقدر است؟ جرم خودرو را ۱۵۰۰kg فرض کنید.



## دوره نهایی فول فیزیک

الف) زمان واکنش، سرعت خودرو، شتاب خودرو  
(ب)

$$\Delta t = 0.6 \text{ s}, \quad \Delta x = 18 \text{ m}$$

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{18}{0.6} = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

(پ)

$$t = \Delta s$$

با در نظر گرفتن  $x_0 = 0$  داریم:

$$x = vt + x_0, \quad v_{av} = \frac{v + v_0}{2} \rightarrow x = \left( \frac{v + v_0}{2} \right) t$$

سرعت  $v_0$  مقداری است که در قسمت (ب) به دست آوردیم و چون خودرو متوقف می شود سرعت نهایی هم صفر است:

$$\rightarrow x = \left( \frac{v + v_0}{2} \right) t = \left( \frac{0 + 30}{2} \right) \times 5 = 75 \text{ m}$$

و برای شتاب با استفاده از رابطه ی (۱-۸) داریم:

$$v = at + v_0 \rightarrow a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{0 - 30}{5} = -6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

(ت) شتاب خودرو را در قسمت قبل محاسبه کردیم:

$$a = -6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, \quad m = 1500 \text{ kg}$$

$$F = ma = 1500 \times (-6) = -9000 \text{ N}$$

علامت منفی به معنی آن است که نیروی وارد بر خودرو خلاف حرکت آن است.

۱۳- یک خودروی باری با طناب افقی محکمی، یک خودروی سواری به جرم  $1500 \text{ kg}$  را می کشد.

نیروی اصطکاک و مقاومت هوا در مقابل حرکت خودروی سواری  $220 \text{ N}$  و  $380 \text{ N}$  است.



الف) اگر سرعت خودرو ثابت باشد نیروی کشش طناب  $T$  چقدر است؟

ب) اگر خودرو با شتاب ثابت  $2 \text{ m/s}^2$  به طرف راست کشیده شود، نیروی کشش طناب چقدر است؟

الف)

$$m = 1500 \text{ kg}, \quad a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, \quad f_k = 220 \text{ N}, \quad f_D = 380 \text{ N}$$



## دوره نهایی فول فیزیک

در حرکت با سرعت ثابت شتاب صفر است  $v = \text{cet} \rightarrow a = 0$  و بنابراین:

$$T - f_k - f_D = 0 \rightarrow T = f_k + f_D = 220 + 380 = 600 \text{ N}$$

(ب) در حرکت شتابدار داریم:

$$T - f_k - f_D = ma \rightarrow T = ma + f_k + f_D$$

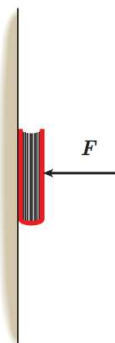
$$\rightarrow T = 1500 \times 2 + 220 + 380 = 3600 \text{ N}$$

۱۴- کتابی را مانند شکل با نیروی عمودی  $F$  به دیوار قائمی فشرده و ثابت نگه داشته‌ایم.

(الف) نیروهای وارد بر کتاب را رسم کنید.

(ب) اگر جرم کتاب  $2/5 \text{ kg}$  باشد، اندازه‌ی نیروی اصطکاک را به دست آورید.

(پ) اگر کتاب را بیشتر به دیوار بفشاریم، آیا نیروی اصطکاک تغییر می‌کند؟ با این کار چه نیروهای افزایش می‌یابد؟



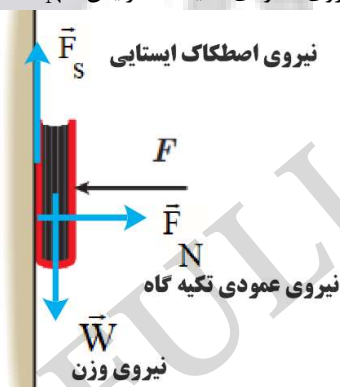
$$m = 2/5 \text{ kg}, \quad g = 9/8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

کتاب حرکت نمی‌کند، بنابراین نیروی وزن و نیروی اصطکاک با هم برابرند:

$$f_s = W \rightarrow f_s = mg = 2/5 \times 9/8 = 24/5 \text{ N}$$

(پ) خیر، نیروی اصطکاک تغییر نمی‌کند.

با افزایش  $F$  نیروی عکس‌العمل آن، نیروی عمودی تکیه‌گاه افزایش ( $F_N$ ) می‌یابد.



## ۲-۳ تکانه و قانون دوم نیوتون

۱۵- وقتی در خودروی ساکنی نشسته‌اید و خودرو ناگهان شروع به حرکت می‌کند، به صندلی فشرده می‌شوید. همچنین اگر در خودروی در حال حرکتی نشسته باشید، در توقف ناگهانی به جلو پرتاب می‌شوید.

(الف) علت این پدیده‌ها را توضیح دهید.

(ب) نقش کمربند ایمنی و کیسه‌ی هوا در کم شدن آسیب‌ها در تصادف‌ها را بیان کنید.

(الف) وقتی اتومبیلی شروع به حرکت یا ترمز می‌کند، نیرویی به آن وارد می‌شود و اتومبیل شتاب می‌گیرد (

$$\vec{F}_{\text{net}} = m\vec{a}). \text{ در زمان شروع حرکت شتاب مثبت و به هنگام ترمز کردن شتاب منفی است.}$$



۶

ب) کمربند ایمنی و کیسه‌ی هوا با قرار گرفتن در مسیر حرکت افراد داخل اتومبیل به هنگام ترمز کردن، مانع از برخورد آن‌ها به شیشه‌ی جلویی اتومبیل می‌شوند. در واقع با افزایش زمان برخورد باعث می‌شوند که تکانه وارد بر سرنشینان کاهش پیدا کند.

۱۶- توپی به جرم  $280\text{g}$  با تندی  $15\text{ m/s}$  به طور افقی به بازیکنی نزدیک می‌شود. بازیکن با مشت به توپ ضربه می‌زند و باعث می‌شود توپ با تندی  $22\text{ m/s}$  در جهت مخالف برگردد. الف) اندازه‌ی تغییر تکانه‌ی توپ را محاسبه کنید.

ب) اگر مشت بازیکن  $0.06\text{ s}$  با توپ در تماس باشد، اندازه‌ی نیروی متوسط وارد بر مشت بازیکن از طرف توپ را به دست آورید. الف)

$$m = 280\text{g} \quad , \quad g = 0.28\text{kg}$$

$$\vec{v}_1 = 15\vec{i} \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad , \quad \vec{v}_2 = 22(-\vec{i}) \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\vec{P} = m\vec{v} \rightarrow \begin{cases} \vec{P}_1 = m\vec{v}_1 = 0.28 \times 15 = 4.2\vec{i} \frac{\text{kgm}}{\text{s}} \\ \vec{P}_2 = m\vec{v}_2 = 0.28 \times 22 = 6.16(-\vec{i}) \frac{\text{kgm}}{\text{s}} \end{cases}$$

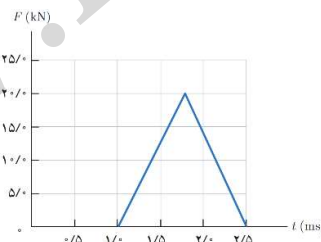
$$\rightarrow \Delta \vec{P} = \vec{P}_2 - \vec{P}_1 = (-6.16 - 4.2) = -10.36\vec{i} \frac{\text{kgm}}{\text{s}}$$

(ب)

$$\Delta t = 0.06\text{s}$$

$$\vec{F}_{\text{av}} = \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t} = \frac{-10.36}{0.06} = -172.6\vec{i} \text{N}$$

۱۷- شکل زیر، منحنی نیروی خالص بر حسب زمان را برای توپ بیسبالی که با چوب بیسبال به آن ضربه زده شده است، نشان می‌دهد. تغییر تکانه‌ی توپ و نیروی خالص متوسط وارد بر آن را به دست آورید.



تغییر تکانه:

می‌دانیم تغییر تکانه‌ی یک جسم برابر است با سطح زیر نمودار نیرو - زمان:

$$\Delta P = S_{F-t} \rightarrow \Delta P = S_{ABC} \text{ مثلث}$$



## دوره نهایی فول فیزیک

دقت کنید که در شکل زمان برحسب میلی ثانیه است و باید به ثانیه تبدیل شود و نیرو نیز برحسب کیلو نیوتن است که باید به نیوتن تبدیل شود:

$$AH = 2 \cdot kN = 2 \times 10^3 \text{ N}$$

$$BC = 2/5 - 1 = 1/5 \text{ ms} = 1/5 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$$S_{ABC} \text{ مثلث} = \frac{AH \times BC}{2} = \frac{2 \times 10^3 \times 1/5 \times 10^{-3}}{2} = 15$$

$$\rightarrow \Delta P = 15 \frac{\text{kgm}}{\text{s}}$$

نیروی خالص وارد بر توپ:

$$\Delta t = BC = 1/5 \times 10^{-3} \text{ s}$$

با استفاده از رابطه‌ی (۲-۹) داریم:

$$\vec{F}_{\text{net}} = \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t} = \frac{15}{1/5 \times 10^{-3}} = 10^4 = 10000 \text{ N}$$

## ۲-۴ نیروی گرانشی

۱۸- دو جسم در فاصله‌ی  $20 \text{ m}$  از هم، یکدیگر را با نیروی گرانشی کوچک  $1/100 \times 10^{-8} \text{ N}$

جذب می‌کنند. اگر جرم یکی از اجسام  $50 \text{ kg}$  باشد، جرم جسم دیگر چقدر است؟

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad G = 6/67 \times 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$$

$$r = 20 \text{ m}, \quad F = 10^{-8} \text{ N}, \quad m_1 = 50 \text{ kg}$$

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \rightarrow m_2 = \frac{F r^2}{G m_1}$$

$$\rightarrow m_2 = \frac{10^{-8} \times (20)^2}{6/67 \times 10^{-11} \times 50} = \frac{40000}{33/35} = 1199/4 \text{ kg}$$

۱۹- الف) در چه ارتفاعی از سطح زمین، وزن یک شخص به نصف مقدار خود در سطح زمین

می‌رسد؟

ب) اگر جرم ماهواره‌ای  $250 \text{ kg}$  باشد، وزن آن در ارتفاع  $36000$  کیلومتری از سطح زمین چقدر

خواهد شد؟

$$R_e = 6400 \text{ km} \quad M_e = 5/98 \times 10^{24} \text{ kg}$$

الف) برای محاسبه وزن جسم در سطح زمین و در ارتفاع  $h$  از سطح زمین داریم:

؟؟؟

$$W_{\text{زمین}} = G \frac{M_e m}{R_e^2}, \quad W_{\text{ارتفاع}} = G \frac{M_e m}{(R_e + h)^2}$$



$$\frac{W_h \text{ در ارتفاع}}{W_{\text{در سطح زمین}}} = \frac{1}{2} \rightarrow \frac{G \frac{M_e m}{(R_e + h)^2}}{G \frac{M_e m}{R_e^2}} = \frac{R_e^2}{(R_e + h)^2} = \left( \frac{R_e}{R_e + h} \right)^2$$

$$\rightarrow \frac{1}{2} = \left( \frac{R_e}{R_e + h} \right)^2 \rightarrow \frac{R_e}{R_e + h} = \frac{1}{\sqrt{2}} \rightarrow \sqrt{2} R_e = R_e + h$$

$$\rightarrow h = R_e(\sqrt{2} - 1)$$

می‌دانیم شعاع زمین برابر است با:  $R_e = 6400 \text{ km}$

$$R_e = 6400 \text{ km} = 64 \times 10^3 \text{ m}$$

$$\rightarrow h = 6400 \times (\sqrt{2} - 1) = 6400 \times 0.414 = 2650 \text{ km}$$

(ب)

$$m = 25 \text{ kg}, \quad h = 2650 \text{ km} = 2650 \times 10^3 \text{ m}$$

با توجه به قسمت (الف) داریم:

$$W_h \text{ در ارتفاع} = G \frac{M_e m}{(R_e + h)^2} = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{5/98 \times 10^{24} \times 25}{[(64 + 26) \times 10^3]^2}$$

$$\rightarrow W_h \text{ در ارتفاع} = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{125 \times 10^{24}}{(10^7)^2} = 55/64 \text{ N}$$

۲۰- الف) شتاب گرانشی ناشی از خورشید در سطح زمین چقدر است؟

ب) شتاب گرانشی ناشی از ماه در سطح زمین چقدر است؟

$$M_{\text{خورشید}} = 2 \times 10^{30} \text{ kg} \text{ و } M_{\text{ماه}} = 7.35 \times 10^{22} \text{ kg}$$

$$\text{فاصله زمین تا خورشید} = 1.496 \times 10^8 \text{ km}$$

$$\text{فاصله زمین تا ماه} = 3.84 \times 10^5 \text{ km}$$

$$\text{فاصله زمین تا خورشید} = R_1 = 1.496 \times 10^8 \text{ km} = 1.496 \times 10^9 \text{ m}$$

$$\text{فاصله زمین تا ماه} = R_2 = 3.84 \times 10^5 \text{ km} = 3.84 \times 10^8 \text{ m}$$

با استفاده از رابطه  $g = G \frac{M_e}{R_e^2}$  برای شتاب گرانش خورشید و ماه در سطح زمین خواهیم داشت:

$$g_{\text{خورشید}} = G \frac{M}{R_e^2} = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{2 \times 10^{30}}{(1.496 \times 10^9)^2} = 5.93 \times 10^{-3} \text{ N/kg}$$

$$\rightarrow g_{\text{خورشید}} = 5.93 \times 10^{-3} \text{ N/kg}$$

$$g_{\text{ماه}} = G \frac{M_{\text{ماه}}}{R_e^2} = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{7.35 \times 10^{22}}{(3.84 \times 10^8)^2}$$





## دوره نهایی فول فیزیک

$$\rightarrow g_{\text{ماه}} = 3 / 32 \times 10^{-5}$$

دقت کنید که به جای  $R_e$  فاصله زمین تا خورشید و فاصله خورشید تا ماه را قرار داده‌ایم.

با مقایسه‌ی مقادیر به‌دست آمده می‌بینیم که:  $\text{ماه } g \approx 10^\circ$  خورشید  $g$

۲۱- الف) سفینه‌ای به جرم  $3 \times 10^4 \text{ kg}$  در وسط فاصله‌ی بین زمین و ماه قرار دارد. نیروی

گرانشی در این مکان وارد می‌شود به‌دست آورید. (از داده‌های مسئله‌های قبل استفاده کنید).

ب) در چه فاصله‌ای از زمین، نیروی گرانشی ماه و زمین بر سفینه، یکدیگر را خنثی می‌کنند؟

$$M_{\text{سفینه}} = 3 \times 10^4 \text{ kg}$$

$$\text{فاصله‌ی زمین تا ماه} = 3 / 84 \times 10^8 \text{ km} = 3 / 84 \times 10^8 \text{ m}$$

$$\rightarrow R = 3 / 84 \times 10^8 \text{ m} \div 2 = 1 / 92 \times 10^8 \text{ m}$$

نیروی گرانشی بین زمین و سفینه:  $F_1$

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \rightarrow F_1 = G \frac{M_{\text{زمین}} M_{\text{سفینه}}}{R^2}$$

$$\rightarrow F_1 = 6 / 67 \times 10^{-11} \times \frac{5 / 98 \times 10^{24} \times 3 \times 10^4}{(1 / 92 \times 10^8)^2} = 324 / 59 \text{ N}$$

نیروی گرانشی بین ماه و سفینه:  $F_2$

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \rightarrow F_2 = G \frac{M_{\text{ماه}} M_{\text{سفینه}}}{R^2}$$

$$\rightarrow F_2 = 6 / 67 \times 10^{-11} \times \frac{7 / 36 \times 10^{22} \times 3 \times 10^4}{(1 / 92 \times 10^8)^2} = 3 / 99 \text{ N}$$

$$\rightarrow F_{\text{خالص}} = 324 / 59 - 3 / 99 = 320 / 6 \text{ N}$$

روش دوم: این روش محاسبات عددی کمتری دارد.

$$\rightarrow F_{\text{خالص}} = F_1 - F_2 = G \frac{M_{\text{زمین}} M_{\text{سفینه}}}{R^2} - G \frac{M_{\text{ماه}} M_{\text{سفینه}}}{R^2}$$

$$\rightarrow F_{\text{خالص}} = G \frac{M_{\text{سفینه}}}{R^2} (M_{\text{زمین}} - M_{\text{ماه}})$$

با جایگذاری در نهایت به مقدار  $320 / 6$  نیوتن می‌رسیم.

ب) نیروهای  $F_1$  و  $F_2$  باید با هم برابر و در خلاف جهت هم باشند.

دقت کنید نقطه‌ای که در آن نیروی برآیند صفر است، نزدیک به ماه (جرم کوچک‌تر) است. زیرا با توجه به

رابطه‌ی  $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ ، چون جرم زمین بیشتر از جرم ماه است، باید فاصله‌ی سفینه از زمین بزرگ‌تر از

فاصله‌ی آن از ماه باشد تا با قرار گرفتن در مخرج کسر نیروی گرانشی بین زمین و سفینه برابر با نیروی

گرانشی بین ماه و سفینه شود:

$$F_1 = F_2 \rightarrow G \frac{M_{\text{زمین}} M_{\text{سفینه}}}{x^2} = G \frac{M_{\text{ماه}} M_{\text{سفینه}}}{(R-x)^2} \rightarrow \frac{M_{\text{زمین}}}{x^2} = \frac{M_{\text{ماه}}}{(R-x)^2}$$



$$\rightarrow \frac{x^2}{(R-x)^2} = \frac{M_{\text{زمین}}}{M_{\text{ماه}}}$$

$$\rightarrow \frac{x^2}{(R-x)^2} = \left(\frac{x}{R-x}\right)^2 \quad (1)$$

$$\frac{M_{\text{زمین}}}{M_{\text{ماه}}} = \frac{5/98 \times 10^{24}}{7/36 \times 10^{22}} = 0/81 \times 10^2 = 81 \quad (2)$$

$$\xrightarrow{(1),(2)} \left(\frac{x}{R-x}\right)^2 = 81 \rightarrow \frac{x}{R-x} = \sqrt{81} = 9$$

$$\rightarrow x = (R-x) \times 9 = 9R - 9x$$

$$\rightarrow x + 9x = 9R \rightarrow 10x = 9R \rightarrow x = 0/9R$$

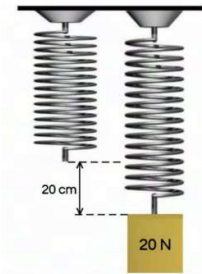
$$\rightarrow x = 0/9 \times 3/84 \times 10^8 = 3/456 \times 10^8 \text{ m}$$



## فصل ۳

## ۱-۳ و ۲-۳ نوسان دوره‌ای و حرکت هماهنگ ساده

۱- یک وزنه  $20\text{ N}$  را از انتهای یک فنر قائم می‌آویزیم، فنر  $20\text{ cm}$  کشیده می‌شود. سپس این فنر را در حالی که به یک وزنه  $5\text{ N}$  متصل است روی میز بدون اصطکاکی به نوسان درمی‌آوریم. دوره‌ی تناوب این نوسان چقدر است؟



$$F_1 = 20\text{ N}$$

$$F_2 = 5\text{ N}$$

$$x = 20\text{ cm} = 0.2\text{ m}$$

با استفاده از رابطه‌ی (۳-۴) برای دوره‌ی تناوب سامانه‌ی جرم - فنر داریم:

؟؟؟

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

بنابراین باید مقادیر  $k$  و  $m$  را به‌دست آوریم.

برای محاسبه‌ی ثابت فنر از رابطه‌ی (۲-۷) در فصل قبل استفاده می‌کنیم:

$$F = kx \rightarrow k = \frac{F}{x} = \frac{20}{0.2} = \frac{200}{2} = 100 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

و جرم نیز با استفاده از رابطه‌ی (۲-۳) در فصل قبل به‌دست می‌آید:

$$W = mg \rightarrow m = \frac{W}{g}$$

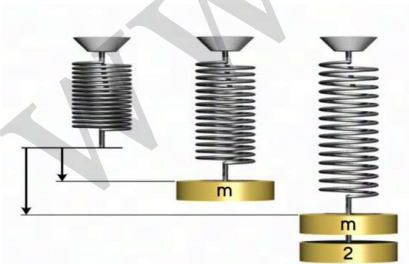
$$W = F_2 = 5\text{ N}$$

$$g = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \rightarrow m = \frac{5}{9.8} = 0.5\text{ kg}$$

و در نهایت:

$$\rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{0.5}{100}} = 0.44\text{ s}$$

۲- هرگاه جسمی به جرم  $m$  به فنری متصل شود و به نوسان درآید، با دوره‌ی تناوب  $2\text{ s}$  نوسان می‌کند. اگر جرم این جسم  $2\text{ kg}$  افزایش یابد، دوره تناوب  $3\text{ s}$  می‌شود. مقدار  $m$  چقدر است؟



$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$T_1 = 2\text{ s}, \quad m_1 = m$$



## تمرین دوره‌ای نوسان

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m_1}{k}} \rightarrow 2 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1)$$

و حالت دوم:  $T_2 = 3s$  ,  $m_2 = m + 2$

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{m_2}{k}} \rightarrow 3 = 2\pi\sqrt{\frac{m+2}{k}} \quad (2)$$

از تقسیم رابطه‌ی (۱) به (۲) به دست می‌آوریم:

$$\rightarrow \frac{(1)}{(2)} = \frac{2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}}{2\pi\sqrt{\frac{m+2}{k}}} = \frac{2}{3} \rightarrow \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m+2}} = \frac{2}{3} \quad (3)$$

دو طرف رابطه‌ی (۳) را به توان ۲ می‌رسانیم:

$$\left(\frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m+2}}\right)^2 = \left(\frac{2}{3}\right)^2 \rightarrow \frac{m}{m+2} = \frac{4}{9} \rightarrow 9m = 4(m+2)$$

$$\rightarrow 9m = 4m + 8 \rightarrow 5m = 8 \rightarrow m = \frac{8}{5} = 1.6 \text{ kg}$$

۳- جرم خودرویی همراه با سرنشینان آن  $1600 \text{ kg}$  است. این خودرو روی چهار فنر با ثابت  $2/00 \times 10^4 \text{ N/m}$  سوار شده است. دوره‌ی تناوب، بسامد، و بسامد زاویه‌ای ارتعاش خودرو وقتی از چاله‌ای می‌گذرد، چقدر است؟ فرض کنید وزن خودرو به طور یکنواخت روی فنرهای چهار چرخ توزیع شده است. طبق فرض مسئله، خودرو روی چهار فنر سوار شده و وزن آن به طور یکنواخت روی فنرهای چهار چرخ توزیع شده است. بنابراین جرمی که روی هر فنر قرار می‌گیرد،  $400$  کیلوگرم می‌باشد:

$$m = \frac{1600}{4} = 400 \text{ kg}$$

$$k = 2 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

با استفاده از رابطه‌ی برای دوره‌ی تناوب سامانه‌ی جرم - فنر داریم:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2 \times 3.14 \sqrt{\frac{400}{2 \times 10^4}}$$

$$\rightarrow T = 2 \times 3.14 \times \frac{20}{\sqrt{2 \times 10^4}} = 0.89 \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.89} = 1.14 \text{ Hz}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 10^4}{400}} = \frac{\sqrt{2 \times 10^4}}{20} = 7.14 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$



۴- دامنه‌ی نوسان یک حرکت هماهنگ ساده  $3 \times 10^{-2} \text{ m}$  و بسامد آن  $5 \text{ Hz}$  هرتز است. معادله‌ی حرکت این نوسانگر را بنویسید و نمودار مکان - زمان آن را در یک دوره رسم کنید.

$$A = 3 \times 10^{-2} \text{ m}, \quad f = 5 \text{ Hz}$$

رابطه‌ی (۲-۳) معادله‌ی مکان - زمان در حرکت هماهنگ ساده است:

$$x(t) = A \cos \omega t$$

مقدار دامنه  $A$  داده شده است و باید  $\omega$  را به دست آوریم:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 5 = 10\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\rightarrow x(t) = 0.03 \cos(10\pi t)$$

برای رسم نمودار مکان - زمان ابتدا باید دوره‌ی تناوب حرکت را با استفاده از رابطه‌ی (۳-۳) محاسبه کنیم:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{10\pi} = \frac{1}{5} = 0.2 \text{ s}$$

سپس از رابطه‌ی  $x(t) = 0.03 \cos(10\pi t)$  مقادیر  $x$  را به دست می‌آوریم:

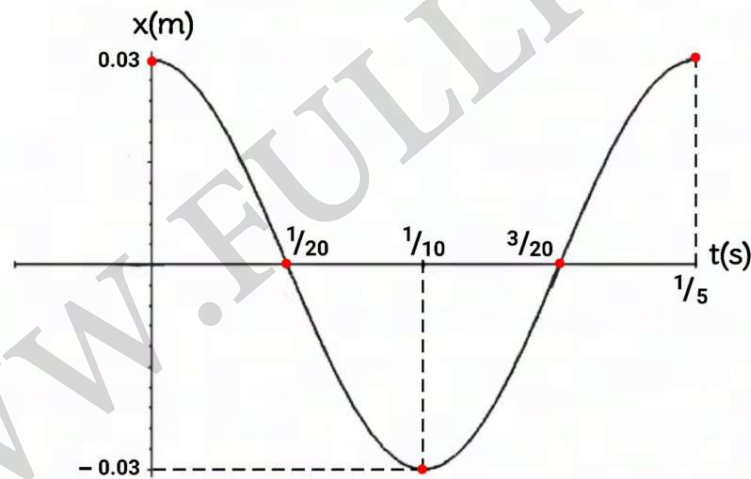
$$t = 0 \rightarrow x(0) = 0.03 \cos(10\pi \times 0) = 0.03 \times \cos(0) = 0.03$$

$$t = \frac{T}{4} = \frac{1}{20} \rightarrow x\left(\frac{1}{20}\right) = 0.03 \cos\left(10\pi \times \frac{1}{20}\right) = 0.03 \times \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0$$

$$t = \frac{T}{2} = \frac{1}{10} \rightarrow x\left(\frac{1}{10}\right) = 0.03 \cos\left(10\pi \times \frac{1}{10}\right) = 0.03 \times \cos(\pi) = -0.03$$

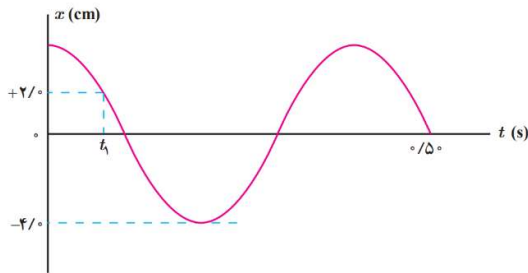
$$t = \frac{3T}{4} = \frac{3}{20} \rightarrow x\left(\frac{3}{20}\right) = 0.03 \cos\left(10\pi \times \frac{3}{20}\right) = 0.03 \times \cos\left(\frac{3\pi}{2}\right) = 0$$

$$t = T = \frac{1}{5} \rightarrow x\left(\frac{1}{5}\right) = 0.03 \cos\left(10\pi \times \frac{1}{5}\right) = 0.03 \times \cos(2\pi) = 0.03$$





## تمرین دوره‌ای نوسان

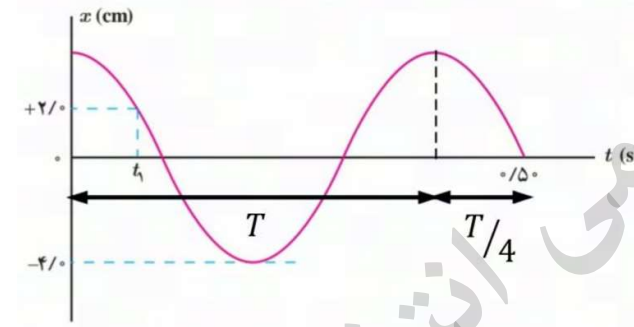


۵- نمودار مکان - زمان نوسانگری مطابق شکل زیر است:

الف) معادله‌ی حرکت این نوسانگر را بنویسید.

ب) مقدار  $t_1$  را به دست آورید.

پ) اندازه‌ی شتاب نوسانگر را در لحظه‌ی  $t_1$  محاسبه کنید.



الف) با توجه به نمودار داریم:

$$A = 4 \text{ cm} = 4 \times 10^{-2} \text{ m}$$

همچنین یک دوره‌ی تناوب کامل و  $\frac{1}{4}$  یک دوره،  $\frac{5}{\Delta}$  s

ثانیه طول کشیده است، یعنی:

$$T + \frac{T}{4} = 5/\Delta \text{ s} \rightarrow \frac{5}{4}T = 5/\Delta \rightarrow T = 4/\Delta \text{ s}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{4/\Delta} = \frac{\Delta}{2}\pi = \Delta\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\xrightarrow{A=4/\Delta, \omega=\Delta\pi} x(t) = 4/\Delta \cos(\Delta\pi t)$$

و در نتیجه بسامد زاویه‌ای برابر است با:

ب) در لحظه‌ی  $t_1$  مقدار  $x$  نوسانگر ۲ سانتی متر است. با جایگذاری در معادله‌ی حرکت به دست آمده در

قسمت الف) داریم:

$$x(t_1) = 2 \text{ cm} \rightarrow 2 = 4 \cos(\Delta\pi t_1)$$

$$\rightarrow \frac{1}{2} = \cos(\Delta\pi t_1) \rightarrow \Delta\pi t_1 = \frac{\pi}{3} \rightarrow t_1 = \frac{1}{3\Delta} \text{ s}$$

$$F = ma, F = kx \rightarrow ma = kx \rightarrow a = \frac{k}{m} x \quad (1)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \rightarrow \omega^2 = \frac{k}{m} \quad (2)$$

$$\xrightarrow{(1), (2)} a = \omega^2 x$$

$$\rightarrow a = (\Delta\pi)^2 \times 4/\Delta = 25 \times (3/14)^2 \times 4/\Delta = 4/9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



## ۳-۳ انرژی در حرکت هماهنگ ساده - آونگ ساده

۶- دامنه‌ی نوسان وزنه‌ای که به یک فنر با ثابت فنر  $74 \text{ N/m}$  متصل است و در راستای افقی نوسان می‌کند، برابر با  $8 \text{ cm}$  است. اگر انرژی پتانسیل این نوسانگر در نقطه‌ای از مسیر نوسان،  $8 \times 10^{-2} \text{ J}$  باشد، انرژی جنبشی آن در این مکان چقدر است؟ (از نیروهای اتلافی چشم‌پوشی شود.)

$$k = 74 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$A = 8 \text{ cm} = 8 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$U = 8 \times 10^{-2} \text{ J}$$

طبق فرض سوال و با چشم‌پوشی از نیروهای اتلافی، انرژی مکانیکی پایسته است:

$$E = U + K \rightarrow K = E - U$$

$$E = \frac{1}{2} k A^2 = \frac{1}{2} \times 74 \times (8 \times 10^{-2})^2 = 2368 \times 10^{-4} \text{ J}$$

$$\rightarrow K = 2368 \times 10^{-4} - 8 \times 10^{-2} = 1568 \times 10^{-4} \text{ J}$$

۷- جسمی به جرم  $1 \text{ kg}$  به فنری افقی با ثابت  $6 \text{ N/cm}$  متصل است. فنر به اندازه‌ی  $9 \text{ cm}$  فشرده و سپس رها می‌شود و جسم روی سطح افقی شروع به نوسان می‌کند. با چشم‌پوشی از اصطکاک، الف) دامنه‌ی نوسان و تندی بیشینه‌ی جسم چقدر است؟ ب) وقتی تندی جسم  $1 \text{ m/s}$  است، انرژی پتانسیل کشسانی آن چقدر است؟

$$m = 1 \text{ kg}$$

$$k = 6 \frac{\text{N}}{\text{cm}} = 600 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

الف) دامنه‌ی نوسان حداکثر فشرده‌گی فنر است:

$$A = 9 \text{ cm} = 9 \times 10^{-2} \text{ m}$$

با چشم‌پوشی از اصطکاک، انرژی مکانیکی پایسته است:  $E = U + K$ ، از طرفی تندی بیشینه یعنی انرژی جنبشی بیشینه و زمانی انرژی جنبشی بیشترین مقدار خود را دارد که انرژی پتانسیل کشسانی صفر باشد:

$$U = 0 \rightarrow E = K \rightarrow \frac{1}{2} k A^2 = \frac{1}{2} m v_{\text{max}}^2$$

$$\rightarrow k A^2 = \frac{1}{2} m v_{\text{max}}^2 \rightarrow v_{\text{max}}^2 = \frac{k}{m} A^2 \rightarrow v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{k}{m}} A$$

$$\rightarrow v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{k}{m}} A \xrightarrow{\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}} v_{\text{max}} = \omega A$$

با جایگذاری مقادیر داده شده داریم:

$$\rightarrow v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{600}{1}} \times 9 \times 10^{-2} = 10\sqrt{6} \times 0.9 = 21.9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



## تمرین دوره‌ای نوسان

ب)  $v = 1/6 \frac{m}{s}$ ؛ از پایستگی انرژی مکانیکی داریم:

$$E = U + K \rightarrow U = E - K$$

حال باید مقادیر  $E$  و  $K$  را محاسبه کنیم:

$$v = 1/6 \frac{m}{s} \rightarrow K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times (1/6)^2 = 1/72 J$$

$$k = 600 \frac{N}{m}, A = 9 \times 10^{-2} m, E = \frac{1}{2}kA^2$$

$$E = \frac{1}{2} \times 600 \times (9 \times 10^{-2})^2 = 2/43 J$$

و در پایان داریم:

$$\rightarrow U = E - K = 2/43 - 1/72 = 1/15 J$$

۸- معادله‌ی حرکت هماهنگ ساده‌ی یک نوسانگر در SI به صورت  $x = (0.05m) \cos 20\pi t$  است.

الف) در چه زمانی، پس از لحظه‌ی صفر، برای نخستین بار تندی نوسانگر به بیشترین مقدار خود می‌رسد؟

ب) در چه زمانی، پس از لحظه‌ی صفر، برای نخستین بار تندی نوسانگر به صفر می‌رسد؟

پ) تندی نوسانگر چقدر باشد تا انرژی جنبشی نوسانگر برابر با انرژی پتانسیل آن شود؟

الف) در حرکت هماهنگ ساده، تندی نوسانگر در نقطه‌ی تعادل بیشترین مقدار است و در این نقطه؛  $t = \frac{T}{4}$

$$t = \frac{3T}{4} \text{ (نخستین بار) و در برگشت}$$

از معادله‌ی حرکت داریم:

$$x(t) = 0.05 \cos(20\pi t) \rightarrow \omega = 20\pi \frac{\text{rad}}{s}$$

با استفاده از رابطه‌ی (۳-۳) به دست می‌آوریم:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{20\pi} = 0.1 s$$

$$\rightarrow t = \frac{T}{4} = \frac{0.1}{4} = \frac{1}{40} = 0.025 s$$

ب) تندی نوسانگر در نقاط  $x = \pm A$  صفر است و در این نقاط؛  $t = 0$  (لحظه‌ی شروع حرکت یا لحظه‌ی

صفر) و  $t = \frac{T}{2}$  (نخستین بار پس از لحظه‌ی صفر)

$$t = \frac{T}{2} = \frac{0.1}{2} = \frac{1}{20} = 0.05 s$$

پ)

$$K = U \rightarrow E = K + K = 2K$$

$$E = 2K \rightarrow \frac{1}{2}kA^2 = 2 \times \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow kA^2 = 2mv^2 \rightarrow v^2 = \frac{1}{2} \frac{k}{m} A^2 \quad (1)$$

از رابطه‌ی (۳-۵) داریم:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \rightarrow \omega^2 = \frac{k}{m} \quad (2)$$





$$\vec{v} = \omega \times \vec{r} = \omega A \rightarrow v = \sqrt{\frac{1}{2} \omega^2 A^2} = \frac{\sqrt{2}}{2} A \omega$$

از معادله‌ی حرکت داریم:  $A = 0.05 \text{ m}$ ,  $\omega = 20\pi$

$$\rightarrow v = \frac{\sqrt{2}}{2} \times 0.05 \times 20\pi = \frac{\sqrt{2}}{2} \pi \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

۹- الف) ساعتی آونگ‌دار (با آونگ ساده) در تهران تنظیم شده است. اگر این ساعت به منطقه‌ای در استوا برده شود، عقب می‌افتد یا جلو، مقدار این عقب یا جلو افتادن در یک شبانه‌روز چقدر است؟

$$(g_{\text{تهران}} = 9.8 \text{ m/s}^2 \text{ و } g_{\text{استوا}} = 9.78 \text{ m/s}^2)$$

ب) به نظر شما آیا با افزایش دما، یک ساعت آونگ‌دار جلو می‌افتد یا عقب؟

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad \text{الف) داریم:}$$

$$\begin{aligned} T_{\text{استوا}} &= 2\pi \sqrt{\frac{L}{g_{\text{استوا}}}} \rightarrow \frac{T_{\text{استوا}}}{T_{\text{تهران}}} = \frac{2\pi \sqrt{\frac{L}{g_{\text{استوا}}}}}{2\pi \sqrt{\frac{L}{g_{\text{تهران}}}}} = \sqrt{\frac{g_{\text{تهران}}}{g_{\text{استوا}}}} \\ T_{\text{تهران}} &= 2\pi \sqrt{\frac{L}{g_{\text{تهران}}}} \\ \rightarrow \frac{T_{\text{استوا}}}{T_{\text{تهران}}} &= \sqrt{\frac{9.8}{9.78}} = 1.001 \end{aligned}$$

$$\rightarrow \frac{T_{\text{استوا}}}{T_{\text{تهران}}} = 1.001 \rightarrow T_{\text{استوا}} = 1.001 \times T_{\text{تهران}} \rightarrow T_{\text{استوا}} > T_{\text{تهران}}$$

دوره‌ی تناوب آونگ در استوا بیشتر از دوره‌ی تناوب آن در تهران است. در نتیجه مدت زمانی که آونگ یک نوسان کامل را طی می‌کند بیشتر است و ساعت عقب می‌افتد.

ب) با افزایش دما طول آونگ افزایش می‌یابد:

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T \rightarrow L_2 > L_1 \xrightarrow{T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}} T_2 > T_1$$

با توجه به توضیحات آمده در قسمت (الف)، ساعت عقب می‌افتد.



## ۳-۴ تشدید

۱۰- هر فرد معمولاً با چرخش اندک بدنش به چپ و راست، راه می‌رود و بدین ترتیب نیروهای کوچکی به زمین زیر پایش وارد می‌کند. این نیروها با بسامدی در حدود  $5\text{ Hz}$  دارند. لرزش شدید پل هوایی میلینیوم<sup>۱</sup> در آغاز هزاره‌ی جدید را به عبور منظم گروهی از افراد از این پل ربط داده‌اند. چگونه ممکن است نوسان‌های بدن این افراد موجب چنین لرزشی شده باشد؟

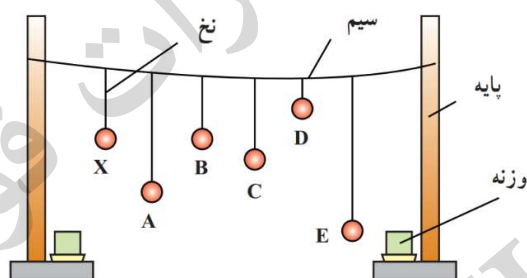
- پدیده‌ی تشدید با اعمال یک نیروی خارجی رخ می‌دهد. به شرط آنکه؛

۱- نیرو به اندازه‌ی کافی قوی باشد.

۲- بسامد اعمال شده با بسامد طبیعی نوسانگر برابر باشد.

بنابراین اگر یک نفر به تنهایی روی پل حرکت کند، به دلیل کوچک بودن نیرو، با وجود برابر بودن بسامد حرکتش با بسامد طبیعی پل تشدید اتفاق نمی‌افتد. همچنین با حرکت نامنظم گروهی از افراد روی پل، به دلیل نابرابری بسامدها با وجود کافی بودن نیرو، باز هم تشدید اتفاق نمی‌افتد. در نهایت زمانی که گروهی از افراد به طور منظم روی پل حرکت کنند دو شرط بالا برقرار است و تشدید رخ می‌دهد.

۱۱- مطابق شکل چند آونگ را از سیمی آویخته‌ایم. توضیح دهید با به نوسان درآوردن آونگ X، آونگ‌های دیگر چگونه نوسان می‌کنند؟



با نوسان آونگ X نیرو از طریق سیم به سایر آونگ‌ها منتقل شده و آن‌ها نیز شروع به نوسان می‌کنند اما از آنجایی که طول نخ آونگ B با آونگ X برابر است، دوره‌ی تناوب و بسامدشان نیز یکی بوده؛ و در نتیجه برای آونگ B تشدید رخ می‌دهد.

## ۳-۵ و ۳-۶ موج و انواع آن، و مشخصه‌های موج

۱۲- یک نوسان‌ساز موج‌هایی دوره‌ای در یک ریسمان کشیده ایجاد می‌کند.

الف) با افزایش بسامد نوسان‌ساز کدام یک از کمیت‌های زیر تغییر نمی‌کند؟ بسامد موج، تندی موج، طول موج موج.

ب) حال اگر به جای افزایش بسامد، کشش ریسمان را افزایش دهیم، هر یک از کمیت‌های زیر چه تغییری می‌کند؟ بسامد موج، تندی موج، طول موج موج.

الف) ۱- بسامد نوسان از ویژگی‌های نوسان‌ساز است و با افزایش بسامد نوسان‌ساز، بسامد موج منتشر شده نیز افزایش می‌یابد.

۲- تندی موج ثابت است زیرا به چشمه‌ی موج وابسته نیست و به محیطی که موج در آن منتشر می‌شود، بستگی دارد.



## دوره نهایی فول فیزیک

۳- طبق رابطه  $\lambda = \frac{v}{f}$ ، با افزایش بسامد و ثابت ماندن تندی موج، طول موج کاهش می‌یابد.

ب) ۱- در قسمت (الف) گفتیم بسامد نوسان از ویژگی‌های نوسان‌ساز است و افزایش یا کاهش کشش نخ، تغییری در آن ایجاد نمی‌کند.

۲- طبق رابطه  $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ ، با افزایش کشش ریسمان (F)، تندی موج افزایش می‌یابد.

۳- با افزایش تندی موج و ثابت ماندن بسامد طبق رابطه  $\lambda = \frac{v}{f}$ ، طول موج افزایش می‌یابد.

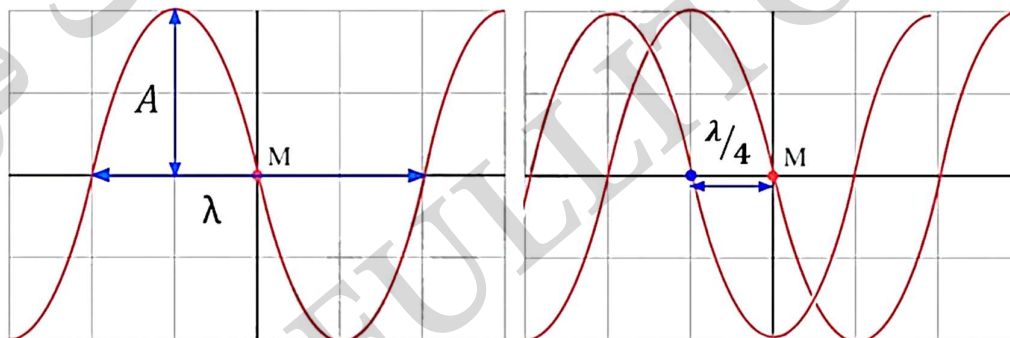
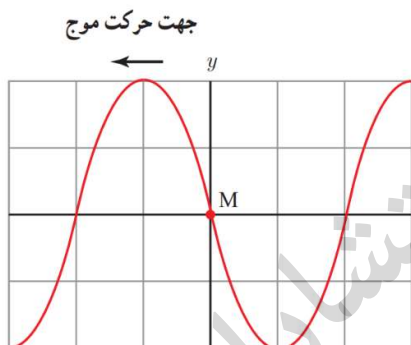
۱۳- شکل زیر یک تصویر لحظه‌ای از موجی عرضی در یک ریسمان

کشیده شده را نشان می‌دهد. موج به سمت چپ حرکت می‌کند.

الف) با رسم این موج در زمان  $T/4$  بعد، نشان دهید جزء M ریسمان در این مدت در چه جهتی حرکت کرده است. همچنین روی این موج، دامنه‌ی موج و طول موج را نشان دهید.

ب) اگر طول موج  $5 \text{ cm}$  و تندی موج  $10 \text{ cm/s}$  باشد، بسامد موج را به دست آورید.

پ) تعیین کنید موج در مدت  $T/4$  چه مسافتی را پیموده است؟



$$\lambda = 5 \text{ cm} , v = 10 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{10 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}{5 \text{ cm}} = 2 \text{ Hz}$$

دقت کنید در رابطه‌ی بالا هر دو واحد سانتی‌متر از صورت و مخرج ساده می‌شوند. (به همین دلیل است که آن‌ها را به متر تبدیل نمی‌کنیم.)

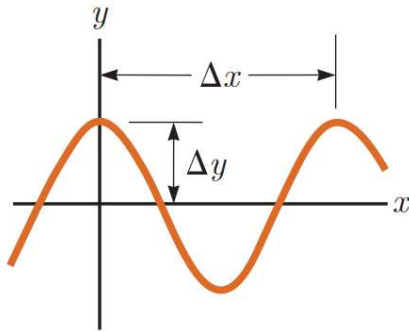
پ) در این مدت موج به اندازه‌ی یک چهارم طول موجش ( $\frac{\lambda}{4}$ ) حرکت کرده است:

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{5 \text{ cm}}{4} = 1.25 \text{ cm}$$



## تمرین دوره‌ای نوسان

۱۴- در نمودار جابه‌جایی — مکان موج عرضی شکل زیر  $\Delta x = 40 \text{ cm}$  و  $\Delta y = 15 \text{ cm}$  است. اگر بسامد نوسان‌های چشمه  $8 \text{ Hz}$  باشد، طول موج، دامنه، تندی و دوره‌ی تناوب موج چقدر است؟



$$f = 8 \text{ Hz}$$

$$\Delta x = 40 \text{ cm}$$

$$\Delta y = 15 \text{ cm}$$

با توجه به شکل در مورد طول موج و دامنه می‌توان نتیجه گرفت:

$$\lambda = \Delta x = 40 \text{ cm}$$

$$A = \Delta y = 15 \text{ cm}$$

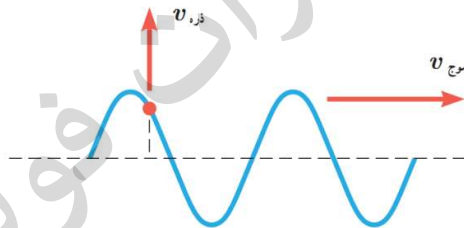
از رابطه‌ی (۳-۹) برای تندی و دوره‌ی تناوب داریم:

$$v = \lambda f = 40 \times 10^{-2} \times 8 = 3.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

دقت کنید طول موج بر حسب سانتی‌متر است، آن را به متر تبدیل کرده و سپس در رابطه جایگذاری می‌کنیم.

$$v = \frac{\lambda}{T} \rightarrow T = \frac{\lambda}{v} = \frac{0.4}{3.2} = 0.125 \text{ s}$$

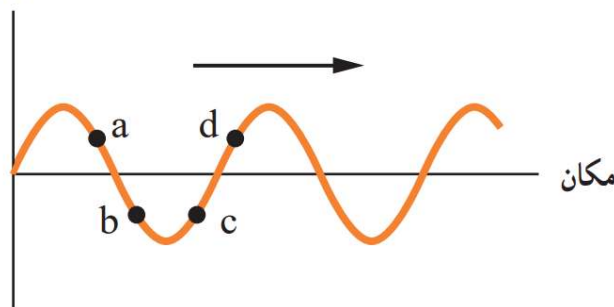
۱۵- شکل زیر موجی عرضی در یک ریسمان را نشان می‌دهد که با تندی موج  $v$  به سمت راست حرکت می‌کند، در حالی که تندی ذره‌ی نشان داده شده‌ی ریسمان  $v_{\text{ذره}}$  است. آیا این دو تندی با هم برابرند؟

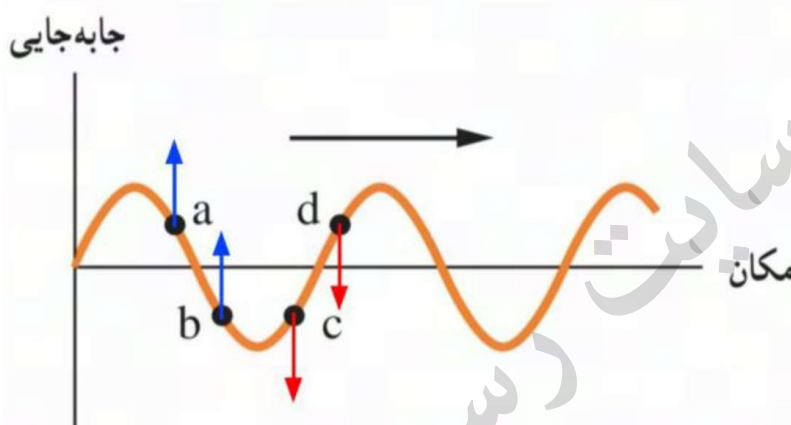


$v$ ، تندی ارتعاشات ذرات تشکیل دهنده‌ی ریسمان است در حالی که  $v$ ، به تندی انتشار ارتعاشات در طول ریسمان گفته می‌شود.  $v$  به جنس و ویژگی‌های ریسمان وابسته است و همواره مقدار ثابتی است اما  $v$  در هر بخش از ریسمان دارای مقدار متفاوتی است.

۱۶- شکل زیر یک موج سینوسی را در لحظه‌ای از زمان نشان می‌دهد که در جهت محور  $x$  در طول ریسمان کشیده شده‌ی حرکت می‌کند. چهار جزء از این ریسمان روی شکل نشان داده شده‌اند. در این لحظه هر یک از این چهار جزء بالا می‌روند یا پایین؟

جابه‌جایی





با توجه به جهت انتشار موج دو جزء a و b بالا می‌روند و دو جزء c و d پایین می‌آیند. نکته‌ی مهم: جهت ارتعاش هر جزء از ریسمان با توجه به جهت انتشار موج، همانند نقاط مقابل آن است. چون موج به سمت راست انتشار می‌یابد، نقطه‌ی مقابل a و b قله‌ی موج است و بنابراین این دو نقطه به سمت بالا نوسان می‌کنند ولی نقطه‌ی مقابل c و d ذره‌ی موج است و نوسان این دو نقطه به سمت پایین است.

۱۷- سیمی با چگالی  $7/80 \text{ g/cm}^3$  و سطح مقطع  $50 \text{ mm}^2$  بین دو نقطه با نیروی  $156 \text{ N}$  کشیده شده است. تندی انتشار موج عرضی را در این سیم محاسبه کنید.

$$\rho = 7/80 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}, \quad A = 50 \text{ mm}^2, \quad F = 156 \text{ N}$$

تندی انتشار موج عرضی از رابطه‌ی  $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$  به دست می‌آید که در آن  $\mu$  چگالی خطی جرم است. بنابراین باید چگالی حجمی  $\rho$  را در مساحت  $A$  ضرب کنیم تا چگالی خطی به دست آید. ابتدا واحدها را بر حسب SI می‌نویسیم:

$$A = 50 \text{ mm}^2 = 50 \times (10^{-3})^2 = 50 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\rho = 7/80 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 7/80 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{10^3 \text{ g}} \times \frac{10^6 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3} = 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

و سپس:

$$\mu = \rho A = 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 50 \times 10^{-6} \text{ m}^2 = 39 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

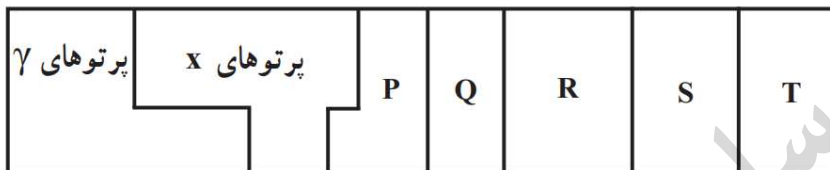
و در نهایت:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{156}{39 \times 10^{-4}}} = \sqrt{4 \times 10^4} = 2 \times 10^2 = 200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



## تمرین دوره‌ای نوسان

۱۸- شکل زیر طیف موج‌های الکترومغناطیسی را به طور تقریبی نشان می‌دهد.

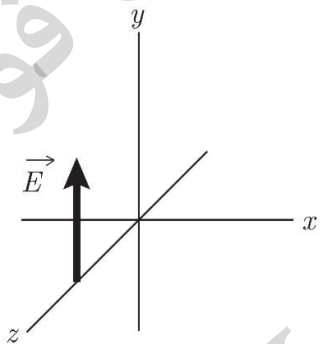


الف) نام قسمت‌هایی از طیف را که با حروف علامت‌گذاری شده‌اند، بنویسید.  
ب) اگر در طول طیف از چپ به راست حرکت کنیم، مقدار کدام مشخصه‌های موج افزایش یا کاهش می‌یابد و کدام ثابت می‌ماند؟

پرتوهای	پرتوهای	فرابنفش	نور مرئی	فروسرخ	رادیویی
$\gamma$	X	P	Q	R	S

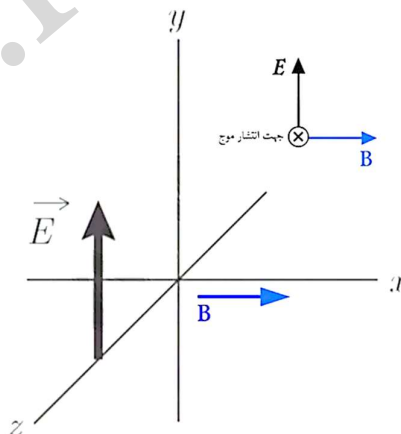
ب) طول موج افزایش و بسامد کاهش می‌یابد و سرعت انتشار موج ثابت می‌ماند.

۱۹- شکل زیر میدان الکتریکی یک موج الکترومغناطیسی سینوسی را در نقطه‌ای معین و دور از چشمه، در یک لحظه نشان می‌دهد. موج انرژی را در خلاف جهت محور  $z$  انتقال می‌دهد. جهت میدان مغناطیسی موج را در این نقطه و این لحظه تعیین کنید.



با توجه به شکل و با استفاده از قاعده‌ی دست راست، جهت میدان مغناطیسی به سمت شرق (در جهت مثبت محور  $x$ ) خواهد بود.

قاعده‌ی دست راست: چهار انگشت در جهت میدان الکتریکی، چرخش انگشتان در جهت میدان مغناطیسی و انگشت شست جهت انتشار موج را نشان می‌دهد.





۲۰- الف) طول موج نور نارنجی در هوا حدود  $6/20 \times 10^{-7} \text{ m}$  است، بسامد این نور چند هرتز است؟  
 ب) بسامد نور قرمز در حدود  $4/30 \times 10^{14} \text{ Hz}$  است. طول موج این نور را در هوا و آب حساب کنید. (سرعت نور را در هوا  $3/0 \times 10^8 \text{ m/s}$  و در آب  $2/25 \times 10^8 \text{ m/s}$  فرض کنید.)

الف) برای بسامد داریم:  $f = \frac{c}{\lambda}$  که در آن به جای  $v$ ، سرعت نور ( $c$ ) را قرار می‌دهیم:

$$c = 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\lambda = 6/20 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{6/20 \times 10^{-7} \text{ m}} = 0/48 \times 10^{15} \frac{1}{\text{s}} = 4/8 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

ب) نور قرمز:

$$f = 4/3 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$v_{\text{هوا}} = c = 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad v_{\text{آب}} = 2/25 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\lambda_{\text{هوا}} = \frac{v_{\text{هوا}}}{f} = \frac{3 \times 10^8}{4/3 \times 10^{14}} = 0/69 \times 10^{-6} = 6/9 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda_{\text{آب}} = \frac{v_{\text{آب}}}{f} = \frac{2/25 \times 10^8}{4/3 \times 10^{14}} = 0/52 \times 10^{-6} = 5/2 \times 10^{-7} \text{ m}$$

۲۱- چشمه‌ی موجی با بسامد  $10 \text{ Hz}$  در یک محیط که تندی انتشار موج در آن  $100 \text{ m/s}$  است، نوسان‌هایی طولی ایجاد می‌کند. اگر دامنه‌ی نوسان‌ها  $4 \text{ cm}$  باشد،

الف) فاصله‌ی بین دو تراکم متوالی این موج چقدر است؟

ب) فاصله‌ی بین یک تراکم و یک انبساط متوالی چقدر است؟

الف) فاصله‌ی بین دو تراکم متوالی  $\lambda$  است:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{100}{10} = 10 \text{ m}$$

ب) فاصله‌ی بین یک تراکم و یک انبساط متوالی  $\frac{\lambda}{2}$  است:

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{10}{2} = 5 \text{ m}$$



## تمرین دوره‌ای نوسان

۲۲- عقرب‌های ماسه‌ای وجود طعمه را با امواجی که بر اثر حرکت طعمه در ساحل شنی ایجاد می‌شود، احساس می‌کنند. این امواج که در سطح ماسه منتشر می‌شوند، بر دو نوع‌اند: امواج عرضی با تندی  $v_T = 50 \text{ m/s}$  و امواج طولی با تندی  $v_L = 150 \text{ m/s}$ . عقرب ماسه‌ای می‌تواند با استفاده از اختلاف زمانی بین رسیدن این امواج به نزدیک‌ترین پای خود، فاصله‌ی خود از طعمه را تعیین کند. اگر این اختلاف زمان برابر  $\Delta t = 4 \text{ ms}$  باشد، طعمه در چه فاصله‌ای از عقرب قرار دارد؟

$$\begin{aligned} v_L &= 150 \frac{\text{m}}{\text{s}} & t \\ v_T &= 50 \frac{\text{m}}{\text{s}} & t + 4 \\ x_L &= x_T \rightarrow v_L t = v_T (t + 0.004) \\ \rightarrow 150t &= 50(t + 0.004) \\ \rightarrow 150t &= 50t + 0.2 \\ \rightarrow 150t - 50t &= 0.2 \\ \rightarrow 100t &= 0.2 \rightarrow t = \frac{0.2}{100} = 2 \text{ ms} \end{aligned}$$

با داشتن زمان، مسافت را به دست می‌آوریم:

$$x_L = v_L t = 150 \times 0.002 = 0.3 \text{ m} = 3 \text{ cm}$$

۲۳- توضیح دهید کدام یک از عامل‌های زیر بر تندی صوت در هوا مؤثر است.

الف) شکل موج  
ب) دامنه‌ی موج  
پ) بسامد موج  
ت) دمای هوا

گزینهِی (ت) دمای هوا

تندی انتشار موج در یک محیط به جنس و ویژگی‌های محیط انتشار بستگی دارد و مستقل از ویژگی‌های چشمه‌ی موج است.

۲۴- در سونوگرافی معمولاً از کاوه‌ای<sup>۲</sup> دستی موسوم به تراگذار فراصوتی<sup>۳</sup> برای تشخیص پزشکی استفاده می‌شود که دقیقاً روی ناحیه‌ی موردنظر از بدن بیمار گذاشته و حرکت داده می‌شود. این کاوه در بسامد  $6.7 \text{ MHz}$  عمل می‌کند.

الف) بسامد زاویه‌ای در این کاوه‌ی نوسان چقدر است؟

ب) اگر تندی موج صوتی در بافتی نرم از بدن  $1500 \text{ m/s}$  باشد، طول موج این موج در این بافت چقدر است؟

$$f = 6.7 \text{ MHz} = 6.7 \times 10^6 \text{ Hz}$$

(الف)

$$\omega = 2\pi f = 2 \times 3.14 \times 6.7 \times 10^6 = 42.076 \times 10^6 \approx 4.2 \times 10^7 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

<sup>۲</sup> probe

<sup>۳</sup> Ultrasonic Transducer





## دوره نهایی فول فیزیک

(ب) داریم:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1500 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{6/7 \times 10^6 \frac{1}{\text{s}}} = 2/23 \times 10^{-4} \text{ m}$$

۲۵- تندی صوت در یک فلز خاص، برابر فلز  $v$  است. به یک سر لوله‌ی توخالی بلندی از جنس این فلز به طول  $L$  ضربه‌ی محکمی می‌زنیم. شنونده‌ای که در سر دیگر این لوله قرار دارد دو صدا را می‌شنود. یکی ناشی از موجی است که از دیواره‌ی لوله می‌گذرد و دیگری از موجی است که از طریق هوای داخل لوله عبور می‌کند. الف) اگر تندی صوت در هوا  $v_{\text{هوا}}$  باشد، بازه‌ی زمانی  $\Delta t$  بین دریافت این دو صدا در گوش شنونده چقدر خواهد بود؟

(ب) اگر  $\Delta t = 1/100 \text{ s}$  و فلز از جنس فولاد باشد، طول  $L$  لوله چقدر است؟ ( $v_{\text{هوا}} = 340 \text{ m/s}$ )  
الف) موجی که از دیواره‌ی لوله می‌گذرد و موجی که از طریق هوای داخل لوله عبور می‌کند، هر دو مسافت یکسان  $L$  را طی می‌کنند.

با استفاده از رابطه‌ی  $x = vt$  و چون

$$v_{\text{فلز}} > v_{\text{هوا}} \rightarrow t_{\text{فلز}} < t_{\text{هوا}} \rightarrow \Delta t = t_{\text{هوا}} - t_{\text{فلز}}$$

$$t_{\text{فلز}} = \frac{L}{v_{\text{فلز}}} \rightarrow \Delta t = \frac{L}{v_{\text{هوا}}} - \frac{L}{v_{\text{فلز}}}$$

$$t_{\text{هوا}} = \frac{L}{v_{\text{هوا}}}$$

(ب)

$$\Delta t = 1/100 \text{ s}, \quad v_{\text{هوا}} = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_{\text{فلز}} = 5941 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{از جدول (۱-۳) داریم:}$$

و نیز در قسمت (الف) به‌دست آوردیم:

$$\Delta t = \frac{L}{v_{\text{هوا}}} - \frac{L}{v_{\text{فلز}}} = L \left( \frac{1}{v_{\text{هوا}}} - \frac{1}{v_{\text{فلز}}} \right)$$

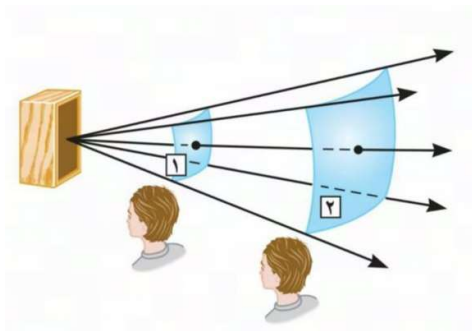
$$\rightarrow 1 = L \left( \frac{1}{340} - \frac{1}{5941} \right) = L \left( \frac{5941 - 340}{5941 \times 340} \right)$$

$$\rightarrow L = \frac{5941 - 340}{5941 \times 340} = \frac{2019940}{5601} \rightarrow L = 360/6 \text{ m}$$



## تمرین دوره‌ای نوسان

۲۶- موجی صوتی با توان  $W = 1/2 \times 10^{-4}$  از دو صفحه‌ی فرضی شکل ۳-۲۶ می‌گذرد. با فرض اینکه مساحت صفحه‌ها به ترتیب  $A_1 = 4 \text{ m}^2$  و  $A_2 = 12 \text{ m}^2$  باشد، شدت صوت در دو سطح را تعیین کنید و توضیح دهید چرا شنونده در محل صفحه‌ی دوم، صدا را آهسته‌تر می‌شنود.



$$P_{av} = 1/2 \times 10^{-4} \text{ W}$$

$$A_1 = 4 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 12 \text{ m}^2$$

$$I = \frac{P_{av}}{A}$$

$$\rightarrow I_1 = \frac{P_{av}}{A_1} = \frac{1/2 \times 10^{-4}}{4} = 3 \times 10^{-5} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$\rightarrow I_2 = \frac{P_{av}}{A_2} = \frac{1/2 \times 10^{-4}}{12} = 10^{-5} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

با افزایش فاصله شدت صوت و در نتیجه صدایی که می‌شنویم کمتر می‌شود.

۲۷- شدت صدای حاصل از یک مته‌ی سنگ‌شکن در فاصله‌ی  $10 \text{ m}$  از آن  $10^{-2} \text{ W/m}^2$  است. تراز شدت صوتی آن بر حسب dB چقدر می‌شود؟

$$I = 10^{-2} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$I_0 = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$\beta = (10 \text{ dB}) \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

$$\rightarrow \beta = 10 \log \left( \frac{10^{-2}}{10^{-12}} \right) = 10 \log \left( \frac{1}{10^{-10}} \right) = 10 \log (10^{10})$$

می‌دانیم:

$$\log a^n = n \log a \rightarrow \log (10^{10}) = 10 \log 10, \log 10 = 1$$

$$\rightarrow \beta = 10 \times 10 = 100$$



۲۸- اگر به مدت ۱۰ دقیقه در معرض صوتی با تراز شدت ۱۲۰dB باشیم، آستانه‌ی شنوایی به طور موقت از ۰dB به ۲۸dB افزایش می‌یابد. مطالعات نشان داده است که به طور متوسط اگر به مدت ۱۰ سال در معرض صدایی با تراز شدت ۹۲dB قرار گیریم، آستانه‌ی شنوایی به طور دائم به ۲۸dB افزایش می‌یابد. شدت‌های صوت مربوط به ۲۸dB و ۹۲dB چقدر است؟ (راهنمایی: برای پاسخ دادن لازم است از ماشین حساب مناسب استفاده کنید).

از رابطه‌ی (۳-۱۲) استفاده می‌کنیم:

$$\beta = (10 \text{ dB}) \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

$$\beta_1 = 28 \text{ dB}$$

$$\rightarrow 28 \text{ dB} = (10 \text{ dB}) \log \left( \frac{I}{I_0} \right) \rightarrow 2.8 = 10 \log \left( \frac{I_1}{10^{-12}} \right)$$

$$\rightarrow 2.8 = \log \left( \frac{I_1}{10^{-12}} \right) \rightarrow 10^{2.8} = \frac{I_1}{10^{-12}}$$

$$\rightarrow I_1 = 10^{2.8} \times 10^{-12} = 10^{-9.2}$$

عدد ۹/۲- را به صورت زیر می‌نویسیم:

$$-9/2 = -10 + 0.5$$

$$\rightarrow I_1 = 10^{-9.2} = 10^{-10} \times 10^{0.8}$$

و چون:

$$10^{0.8} = 10^{0.5} = 10^{0.5} = \sqrt{10^{1.0}} = \sqrt{10} = 3.16$$

$$\rightarrow I_1 = 10^{-10} \times 3.16 = 3.16 \times 10^{-10} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$\beta_2 = 92 \text{ dB}$$

$$\rightarrow 92 \text{ dB} = (10 \text{ dB}) \log \left( \frac{I_2}{I_0} \right) \rightarrow 9.2 = 10 \log \left( \frac{I_2}{10^{-12}} \right)$$

$$\rightarrow 9.2 = \log \left( \frac{I_2}{10^{-12}} \right) \rightarrow 10^{9.2} = \frac{I_2}{10^{-12}}$$

$$\rightarrow I_2 = 10^{9.2} \times 10^{-12} = 10^{-2.8}$$

عدد ۲/۸- را به صورت زیر می‌نویسیم:

$$-2/8 = -3 + 0.2$$

$$\rightarrow I_2 = 10^{-2.8} = 10^{-3} \times 10^{0.2}$$

و در نتیجه:

$$10^{0.2} = 10^{0.5} = 10^{0.5} = \sqrt{10^{1.0}} = \sqrt{10} = 3.16$$

$$\rightarrow I_2 = 10^{-3} \times 3.16 = 3.16 \times 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$



## تمرین دوره‌ای نوسان

۲۹- یک دستگاه صوتی، صدایی با تراز شدت  $\beta_1 = 90 \text{ dB}$  و دستگاه صوتی دیگر، صدایی با تراز شدت  $\beta_2 = 95 \text{ dB}$  ایجاد می‌کند. شدت‌های مربوط به این دو تراز (برحسب  $\text{W/m}^2$ ) به ترتیب  $I_1$  و  $I_2$  هستند. نسبت  $I_2/I_1$  را تعیین کنید.

$$\beta_1 = 90 \text{ dB}, \beta_2 = 95 \text{ dB}$$

$$\beta = (10 \text{ dB}) \log \left( \frac{I}{I_0} \right) \quad \text{از رابطه‌ی (۳-۱۲) استفاده می‌کنیم:}$$

$$\beta_1 = (10 \text{ dB}) \log \left( \frac{I_1}{I_0} \right) \rightarrow 90 = 10 \log \left( \frac{I_1}{I_0} \right) \rightarrow 9 = \log \left( \frac{I_1}{I_0} \right) \quad (1)$$

$$\beta_2 = (10 \text{ dB}) \log \left( \frac{I_2}{I_0} \right) \rightarrow 95 = 10 \log \left( \frac{I_2}{I_0} \right) \rightarrow 9.5 = \log \left( \frac{I_2}{I_0} \right) \quad (2)$$

رابطه‌های (۱) و (۲) را از هم کم می‌کنیم:

$$\log \left( \frac{I_2}{I_0} \right) - \log \left( \frac{I_1}{I_0} \right) = 9.5 - 9$$

$$\log \frac{a}{b} = \log a - \log b \quad \text{می‌دانیم:}$$

$$\rightarrow \log \left( \frac{I_2}{I_1} \right) = 0.5 \rightarrow \frac{I_2}{I_1} = 10^{0.5} = \sqrt{10} = 3.16$$

۳۰- در یک آتش‌بازی، موشکی در بالای آسمان منفجر می‌شود. فرض کنید صوت به‌طور یکنواخت در تمام جهات‌ها منتشر شود. از جذب انرژی صوتی در محیط و نیز از بازتابی که ممکن است امواج صوتی در محیط و نیز از بازتابی که ممکن است امواج صوتی از زمین پیدا کند، چشم‌پوشی کنید. با فرض اینکه صوت با شدت  $I = 0.1 \text{ W/m}^2$  به شنونده‌ای برسد که به فاصله‌ی  $r_1 = 640 \text{ m}$  از محل انفجار قرار دارد، این صوت به شنونده‌ای که در فاصله‌ی  $r_2 = 160 \text{ m}$  از محل انفجار قرار دارد با چه شدتی می‌رسد؟

$$I_1 = 0.1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}, r_1 = 640 \text{ m}, r_2 = 160 \text{ m}$$

$$I = \frac{P_{av}}{A} \rightarrow P_{av} = IA$$

توان متوسط موشک ثابت است. بنابراین:

$$P_{av} = \text{ثابت} \rightarrow I_1 A_1 = I_2 A_2$$

$$A = 4\pi r^2 \rightarrow I_1 \times 4\pi r_1^2 = I_2 \times 4\pi r_2^2 \rightarrow I_1 r_1^2 = I_2 r_2^2$$

$$\rightarrow I_2 = \frac{r_1^2}{r_2^2} I_1 = \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 I_1$$



## دوره نهایی فول فیزیک

$$\rightarrow I_r = \left( \frac{640}{160} \right)^2 \times 0.1 = 4^2 \times 0.1 = 1.6$$

۳۱- نمودار جابه‌جایی - مکان دو موج صوتی A و B که در یک محیط منتشر شده‌اند، به صورت زیر است. دامنه، طول موج، بسامد و شدت این دو موج صوتی را با هم مقایسه کنید.  
با توجه به شکل درباره‌ی دامنه و طول موج می‌توان گفت:

$$A_A = 2A_B$$

$$\lambda_A = \frac{1}{2}\lambda_B$$

دامنه؛ فاصله روی محور عمودی و طول موج؛ فاصله روی محور افقی است.

بسامد: (f)

$v = \lambda f$  و چون سرعت انتشار موج در یک محیط ثابت است:

$$v = \text{ثابت} \rightarrow \lambda_A f_A = \lambda_B f_B \rightarrow \frac{f_A}{f_B} = \frac{\lambda_B}{\lambda_A}$$

$$\lambda_A = \frac{1}{2}\lambda_B \rightarrow \frac{\lambda_B}{\lambda_B} = 2 \rightarrow \frac{f_A}{f_B} = 2$$

شدت:  $(I = \frac{P_{av}}{A})$

می‌دانیم توان برابر است با انرژی در واحد زمان:  $P_{av} = Et$  و نیز از رابطه‌ی (۳-۷) داریم:

$$\rightarrow P_{av} = 2\pi^2 m f^2 A^2 t \rightarrow I = \frac{2\pi^2 m f^2 A^2 t}{A}$$

مساحت (A)، زمان (t) و جرم (m) ثابت هستند. بنابراین:

$$\rightarrow \frac{I_A}{I_B} = \frac{f_A^2}{f_B^2} \times \frac{A_A^2}{A_B^2} = \left( \frac{f_A}{f_B} \right)^2 \times \left( \frac{A_A}{A_B} \right)^2$$

$$\frac{A_A = 2, f_A = 2}{A_B f_B} \rightarrow \frac{I_A}{I_B} = (2)^2 \times (2)^2 = 16$$

۳۲- شکل زیر جهت‌های حرکت یک چشمه‌ی صوتی و یک ناظر (شنونده) را در وضعیت‌های مختلف نشان

می‌دهد.

چشمه	ناظر (شنونده)	
•	•	(الف)
•→	•	(ب)
←•	•	(پ)
•	•→	(ت)
•	←•	(ث)
•→	←•	(ج)
←•	•→	(ح)



## تمرین دوره‌ای نوسان

بسامدی را که ناظر در حالت‌های مختلف می‌شنود با حالت الف مقایسه کنید.  
(ب) چون چشمه به ناظر نزدیک می‌شود، بسامد افزایش می‌یابد.

$$f_{\text{ب}} > f_{\text{الف}}$$

(پ) با دور شدن چشمه از ناظر، بسامد کاهش می‌یابد.

$$f_{\text{پ}} < f_{\text{الف}}$$

(ت) با دور شدن ناظر از چشمه، بسامد کاهش می‌یابد.

$$f_{\text{ت}} < f_{\text{الف}}$$

(ث) با نزدیک شدن ناظر به چشمه، بسامد افزایش می‌یابد.

$$f_{\text{ث}} > f_{\text{الف}}$$

(ج) چشمه و ناظر به هم نزدیک می‌شوند و بنابراین بسامد افزایش می‌یابد.

$$f_{\text{ج}} > f_{\text{الف}}$$

(چ) چشمه و ناظر از هم دور می‌شوند و بنابراین بسامد کاهش می‌یابد.

$$f_{\text{چ}} < f_{\text{الف}}$$

## ۳-۷ بازتاب موج

۳۳- دانش آموزی بین دو صخره‌ی قائم ایستاده است و فاصله‌ی او از صخره‌ی نزدیک‌تر ۲۴۰m است. دانش آموز فریاد می‌زند و اولین پژواک صدای خود را پس از ۱/۵s و صدای پژواک دوم را ۱/۰s بعد از پژواک اول می‌شنود.



(الف) تندی صوت در هوا چقدر است؟  
(ب) فاصله‌ی بین دو صخره را بیابید.

$$L = 240 \text{ m}$$

$$t = 1/5 \text{ s}$$

(الف) زمان رفت و برگشت صوت بین دانش‌آموز و صخره‌ی نزدیک‌تر ۱/۵ ثانیه است. بنابراین با استفاده از رابطه‌ی  $x = vt$  داریم:

$$x = vt \rightarrow 2L = vt$$

$$\rightarrow 2 \times 240 = v \times 1/5$$

$$\rightarrow 480 = v \times 1/5 \rightarrow v = \frac{480}{1/5} = 320 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

(ب) زمان رفت و برگشت صوت بین دانش‌آموز و صخره‌ی دورتر برابر است با:

$$t = 1/5 + 1 = 2/5 \text{ s}$$

$$v = 320 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ همچنین در قسمت قبل به دست آوردیم:}$$

$$x = vt \rightarrow 2L' = 320 \times 2/5 \rightarrow 2L' = 800$$

$$\rightarrow L' = 400 \text{ m}$$

بنابراین فاصله‌ی بین دو صخره برابر است با:

$$X = 240 + 400 = 640$$



۳۴- اگر در فاصله‌ی مناسبی از یک رشته پلکان بلند بایستید و یک بار کف بزنید، پژواکی بیشتر از یک صدای برهم زدن دست می‌شنوید. نمونه‌ی جالبی از این پدیده در برابر رشته پله‌های معبد قدیمی کوه‌لکان در مکزیك رخ می‌دهد. این معبد از ۹۲ پله‌ی سنگی تشکیل شده است. در مورد چنین پژواکی توضیح دهید. اگر در فاصله‌ی مناسبی از رشته پلکان بایستیم، می‌توانیم مسیر تپ‌های متوالی را مانند شکل تقریباً موازی در نظر بگیریم.

منظور از فاصله‌ی مناسب یعنی خیلی نزدیک به پلکان نباشیم. چون تعداد پله‌های معبد ۹۲ تا است، ۹۲ پژواک می‌شنویم و از آنجایی که هر کدام مسافت‌های متفاوتی را طی می‌کنند بسامد حاصل از پژواک آن‌ها نیز متفاوت خواهد بود. می‌دانیم بسامد عکس زمان است:

$$f = \frac{1}{t}$$

$$x = vt \rightarrow t = \frac{x}{v} \rightarrow f = \frac{v}{x}$$

نتیجه اینکه بسامد، متناسب با عکس مسافت است. به عبارت دیگر با افزایش فاصله بسامد کاهش می‌یابد:

$$\rightarrow f_1 = \frac{v}{x_1} = \frac{v}{X}$$

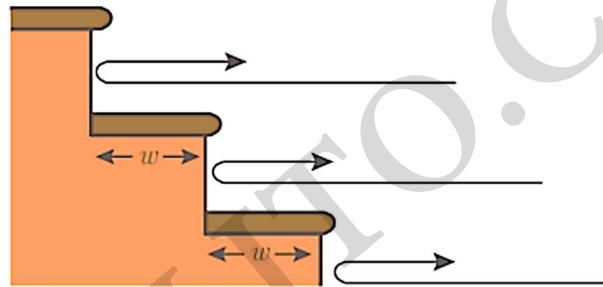
$$\rightarrow f_2 = \frac{v}{x_2} = \frac{v}{X+y}$$

$$\rightarrow f_3 = \frac{v}{x_3} = \frac{v}{X+2y}$$

...

$$\rightarrow f_{92} = \frac{v}{x_{92}} = \frac{v}{X+91y}$$

بنابراین بسامد ثابتی را نمی‌شنویم بلکه گستره‌ای از بسامدها را درک می‌کنیم که به تدریج کم می‌شوند. به طوری که بسامد دریافتی از پله‌های پایینی بیشتر از پله‌های بالایی است.

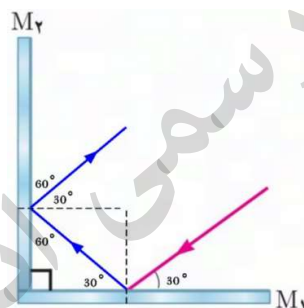
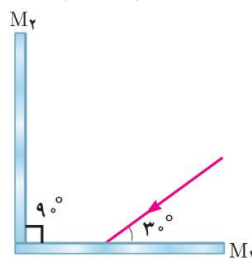


۳۵- وقتی یک باریکه‌ی لیزر را به دیوار کلاس می‌تابانیم، همه‌ی دانش‌آموزان نقطه‌ی رنگی ایجاد شده روی دیوار را می‌بینند. دلیل آن چیست؟

زیرا باریکه‌ی لیزر به سطحی برخورد می‌کند که شفاف نیست و نور را به صورت نامنظم و در همه‌ی جهات بازتاب می‌کند. در نتیجه همه‌ی دانش‌آموزان می‌توانند نقطه‌ی رنگی روی دیوار را ببینند. در اصل این موضوع ناشی از بازتاب پخشنده است.



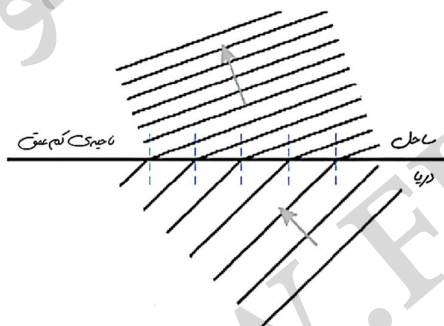
۳۶- در شکل زیر پرتوهای بازتابیده از آینه‌های تخت  $M_1$  و  $M_2$  را رسم کنید.



### ۳-۸ شکست موج

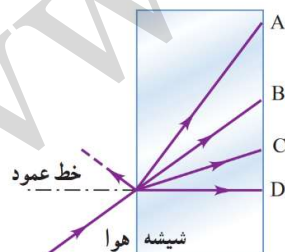
۳۷- با رسم شکلی از جبهه‌های موج توضیح دهید چگونه جهت انتشار جبهه‌های موج با رسیدن به یک ساحل شیب‌دار، تغییر می‌کند.

با نزدیک شدن امواج به ساحل شیب‌دار عمق آب کم شده و در نتیجه تندی امواج کاهش می‌یابد و جهت انتشار آن‌ها تغییر می‌کند.



طبق متن کتاب درسی؛ بخشی از جبهه‌ی موج که زودتر به ناحیه‌ی کم‌عمق می‌رسد، چون با تندی کمتری حرکت می‌کند از بقیه‌ی جبهه‌ی موج که هنوز وارد این ناحیه نشده عقب می‌افتد و بنابراین فاصله‌ی بین جبهه‌های موج و در نتیجه طول موج کاهش می‌یابد و جبهه‌های موج در مرز دو ناحیه تغییر جهت می‌دهند.

۳۸- شکل زیر پرتویی را نشان می‌دهد که از هوا وارد شیشه شده است. کدام گزینه‌های A تا D، می‌تواند پرتوی داخل شیشه را نشان دهد؟







## دوره نهایی فول فیزیک

چون شیشه ضریب شکست بزرگ‌تری نسبت به هوا دارد، پرتو شکسته در شیشه به خط عمود نزدیک‌تر شده و زاویه‌ی شکست کوچک‌تر از زاویه‌ی تابش است.

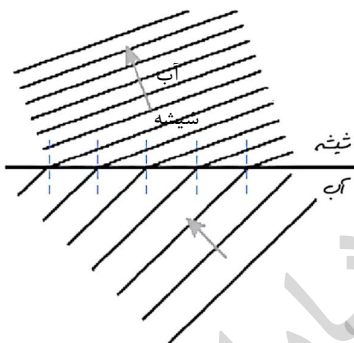
A؛ پرتو شکست از خط عمود دور شده است.

B؛ بدون شکست از شیشه عبور کرده است. (دقیقاً در امتداد پرتو تابش رسم شده.)

C؛ با توجه به توضیحات داده شده پاسخ درست است.

D؛ دقیقاً روی خط عمود رسم شده و در نتیجه زاویه‌ی شکست برابر صفر است.

۳۹- ضریب شکست آب  $\frac{1}{3}$  و ضریب شکست شیشه  $\frac{1}{5}$  است. اگر نوری به طور مایل از آب به مرز شیشه با آب بتابد، با رسم نموداری، جبهه‌های موج را در دو محیط نشان دهید.



$$n_{\text{آب}} = \frac{1}{3}$$

$$n_{\text{شیشه}} = \frac{1}{5}$$

با استفاده از رابطه‌ی (۲-۴) داریم:

$$n = \frac{c}{v}$$

$$n_{\text{شیشه}} > n_{\text{آب}} \rightarrow v_{\text{شیشه}} < v_{\text{آب}}$$

در نتیجه بخشی از جبهه‌ی موج که زودتر به شیشه می‌رسد، چون با

تندی کمتری حرکت می‌کند از بقیه‌ی جبهه‌ی موج که هنوز وارد

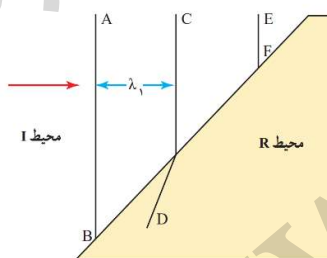
شیشه نشده عقب می‌افتد و بنابراین فاصله‌ی بین جبهه‌های موج و در نتیجه طول موج کاهش می‌یابد و جبهه‌های موج در مرز دو ناحیه تغییر جهت می‌دهند.

۴۰- شکل زیر جبهه‌های موجی را نشان می‌دهد که بر مرز بین محیط I و محیط R فرود آمده‌اند.

الف) ادامه‌ی جبهه‌های موج EF را در محیط R رسم کنید.

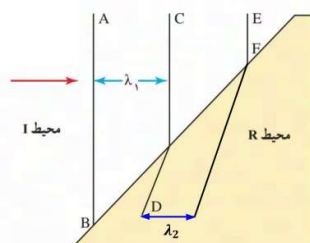
ب) توضیح دهید در کدام محیط تندی موج بیشتر است.

پ) آیا با استفاده از این نمودار می‌توان نسبت تندی موج عبوری به موج فرودی را محاسبه کرد؟



الف) ادامه‌ی موج ER، یعنی پرتوی شکسته شده در محیط R، باید با پرتوی D موازی باشد.

نکته: در یک محیط، به طور مجزا پرتوهای فرودی با هم، پرتوهای بازتابیده با هم و پرتوهای شکسته با هم موازی هستند.





## تمرین دوره‌ای نوسان

ب) با توجه به شکل مشاهده می‌کنیم که طول موج در محیط R کمتر از محیط I می‌باشد و چون طول موج با سرعت رابطه‌ی مستقیم دارد، بنابراین سرعت در محیط R کمتر از محیط I است:

$$\lambda_R < \lambda_I \xrightarrow{\lambda = \frac{v}{f}} v_R < v_I$$

پ) بسامد موج در دو محیط یکسان است و در نتیجه نسبت تندی موج عبوری به موج فرودی برابر با نسبت سرعت‌های آن‌هاست.

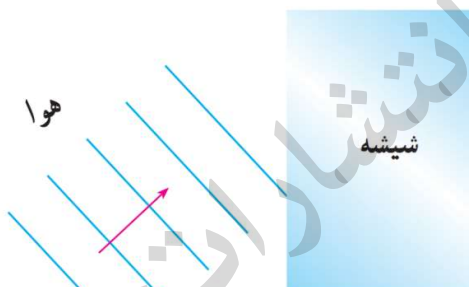
$$\lambda = \frac{v}{f} \rightarrow \frac{\lambda_R}{\lambda_I} = \frac{v_R}{v_I}$$

با استفاده از یک خط‌کش طول  $\lambda_1$  و  $\lambda_2$  را اندازه‌گیری کرده و در رابطه‌ی بالا قرار می‌دهیم تا نسبت سرعت‌ها به‌دست آید.  
در این شکل این نسبت حدود ۱.۶ می‌شود.

۴۱- در شکل زیر موج نوری فرودی از هوا وارد شیشه می‌شود.

الف) مشخصه‌های موج بازتابیده و موج شکست یافته را با موج فرودی مقایسه کنید.

ب) جبهه‌های موج بازتابیده و شکست یافته را رسم کنید.



الف) برای موج بازتابیده، طول موج و تندی با موج فرودی برابر است در حالی که برای موج شکسته، با توجه به ضریب شکست دو محیط، طول موج و تندی‌ها با هم متفاوت هستند.

توجه: بسامد پرتوی فرودی، پرتوی بازتابیده و پرتوی شکسته شده با هم برابر است.

ب) همواره زاویه‌ی شکست و زاویه‌ی تابش با هم برابرند.

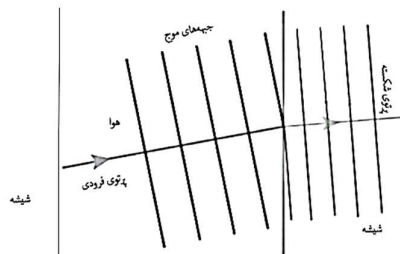
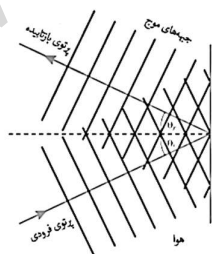
ضریب شکست شیشه از هوا بزرگ‌تر است، بنابراین پرتوی شکسته باید به خط عمود نزدیک شود:

$$n_{\text{شیشه}} > n_{\text{هوا}} \xrightarrow{n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2} \theta_{\text{شیشه}} < \theta_{\text{هوا}}$$

همچنین:

$$n_{\text{شیشه}} > n_{\text{هوا}} \xrightarrow{n = \frac{c}{v}} v_{\text{شیشه}} < v_{\text{هوا}} \xrightarrow{\lambda = \frac{v}{f}} \lambda_{\text{شیشه}} < \lambda_{\text{هوا}}$$

فاصله‌ی جبهه‌های موج در شیشه کمتر از هواست.





## دوره نهایی فول فیزیک

۴۲- طول موج نور قرمز لیزر هلیوم — نئون در هوا حدود  $633\text{nm}$  است، ولی در زجاجیه‌ی چشم  $474\text{nm}$  است. الف) بسامد این نور چقدر است؟ ب) ضریب شکست زجاجیه برای این نور چقدر است؟ پ) تندی این نور در زجاجیه را محاسبه کنید.

(الف)

$$\lambda_{\text{هوا}} = 633\text{nm}$$

$$\lambda_{\text{چشم}} = 474\text{nm}$$

می‌دانیم سرعت نور در هوا برابر است با:  $c = 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  و با استفاده از رابطه‌ی  $\lambda = \frac{v}{f}$  داریم:

$$\rightarrow \lambda_{\text{هوا}} = \frac{v_{\text{هوا}}}{f} \rightarrow f = \frac{v_{\text{هوا}}}{\lambda_{\text{هوا}}}$$

$$\rightarrow f = \frac{3 \times 10^8}{633 \times 10^{-9}} = 0.00474 \times 10^{17} = 4.74 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

(ب)

$$n = \frac{c}{v}, v = \lambda f \rightarrow n = \frac{c}{\lambda f}$$

می‌دانیم بسامد نور در هوا و چشم ثابت است، بنابراین نسبت ضریب شکست‌ها برابر با نسبت طول موج‌هاست:

$$\rightarrow \frac{n_{\text{چشم}}}{n_{\text{هوا}}} = \frac{\lambda_{\text{هوا}}}{\lambda_{\text{چشم}}}$$

$$\frac{n_{\text{چشم}}}{n_{\text{هوا}}=1} \rightarrow n_{\text{چشم}} = \frac{\lambda_{\text{هوا}}}{\lambda_{\text{چشم}}} = \frac{633}{474} = 1.33$$

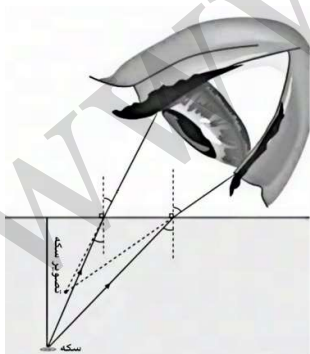
دقت کنید چون یکاها از صورت و مخرج ساده می‌شوند، در محاسبات طول موج‌ها را از نانومتر به متر تبدیل نمی‌کنیم.

(پ)

$$n = \frac{c}{v} \rightarrow v = \frac{c}{n}$$

$$\rightarrow v = \frac{3 \times 10^8}{1.33} = 2.25 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

۴۳- سکه‌ای را در گوشه‌ی فنجان‌ی خالی قرار دهید و طوری مقابل آن قرار گیرید که نتوانید سکه را ببینید.



سیس بی‌آنکه سرتان را حرکت دهید به آرامی در فنجان آب بریزید، به طوری

که آب ریختن شما موجب جابه‌جایی سکه نشود. با پر شدن فنجان، سکه را

خواهید دید. با رسم پرتوها علت دیده شدن سکه را توضیح دهید.

پرتوهای نوری که از سکه به چشم می‌رسند در مرز بین آب و هوا شکسته شده و چون

ضریب شکست آب بزرگ‌تر از هواست، پرتوهای شکسته از خط عمود دور می‌شوند و

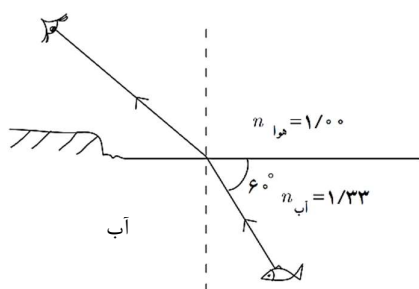
امتداد آن‌ها در جایی بالاتر از کف لیوان یکدیگر را قطع می‌کنند. بنابراین می‌توانیم

سکه را ببینیم.



## تمرین دوره‌ای نوسان

۴۴- مطابق شکل، پرتو نوری که از ماهی به چشمان شخص می‌رسد تحت زاویه‌ی  $60^\circ$  به مرز آب — هوا برخورد کرده است. زاویه‌ی شکست این پرتو در هوا چقدر است؟



دقت کنید زاویه‌ی تابش، زاویه‌ی بین پرتو تابش و خط عمود است:

$$\theta = 90 - 60 = 30^\circ$$

با استفاده از قانون شکست اسنل، و با جایگذاری داده‌های مسئله به دست می‌آوریم:

$$n_{\text{آب}} \sin \theta_{\text{آب}} = n_{\text{هوا}} \sin \theta_{\text{هوا}}$$

$$\rightarrow 1.33 \times \sin 30^\circ = 1 \times \sin \theta_{\text{هوا}}$$

$$\sin 30^\circ = \frac{1}{1.33} \rightarrow 1.33 \times \frac{1}{2} = 0.665 = \sin \theta_{\text{هوا}}$$

$$\rightarrow \theta_{\text{هوا}} = 41.7^\circ$$

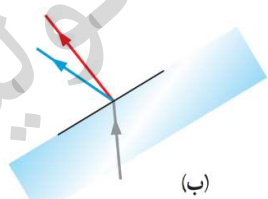
۴۵- در شکل‌های زیر، پرتوی فرودی که شامل نورهای قرمز و آبی است از شیشه وارد هوای رقیق شده است. کدام شکل، شکستنی را نشان می‌دهد که از لحاظ فیزیکی ممکن است؟

(الف) نادرست است؛ زیرا از آنجایی که طول موج نور آبی کمتر از نور قرمز است، باریکه‌ی نور آبی باید بیشتر از نور قرمز خم شود. بنابراین ضریب شکست نور آبی در شیشه بیشتر از نور قرمز و در نتیجه زاویه‌ی شکست آن بزرگ‌تر است. (قرمز  $\theta > \theta_{\text{آبی}}$ )

(ب) نادرست است؛ زیرا پرتوی قرمز روی خط عمود بر مرز شیشه و هوا شکسته شده ( $\theta = 0^\circ$  شکست) که غیرممکن است. همچنین پرتوی آبی در سمت چپ خط عمود شکسته شده.

(پ) نادرست است؛ زیرا باریکه‌ی نور آبی باید بیشتر از نور قرمز خم شود.

(ت) توضیحات در قسمت (الف) آورده شده است. درست است؛ زیرا همانطور که انتظار می‌رود پرتوی شکسته از خط عمود دور شده و نور آبی بیشتر از نور قرمز شکسته شده است.



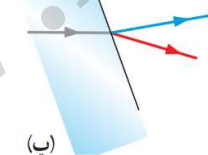
(ب)



(الف)



(ت)



(پ)



## دوره نهایی فول فیزیک

۴۶- دو دانش آموز به نور زرد نگاه می کنند. یکی از آن ها نور زرد را ترکیب دو نور قرمز و سبز و دیگری آن را از یک نوع رنگ می داند. به نظر شما با چه تجربه ای می توان بین این دو نظر، یکی را انتخاب کرد؟  
با استفاده از یک منشور می توانیم پاسخ را پیدا کنیم:  
اگر نور زرد ترکیبی از نورهای سبز و قرمز باشد در منشور تجزیه می شود.



## فصل ۴

## ۴-۱ اثر فوتوالکتریک و فوتون

۱- یک لامپ حاوی گاز کم فشار سدیم، فوتون‌هایی با طول موج  $589\text{nm}$  گسیل می‌کند.  
 الف) بسامد و انرژی فوتون‌های گسیلی را حساب کنید. انرژی را بر حسب ژول و همچنین الکترون ولت بیان کنید.  
 ب) فرض کنید توان تابشی مفید لامپ  $50\text{W}$  است. در هر دقیقه چند فوتون از این لامپ گسیل می‌شود؟

۱- الف) با استفاده از رابطه‌ی (۳-۹) در فصل سوم داریم:  $v = \lambda f$ . در امواج الکترومغناطیسی  
 $v = c = 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ، بنابراین:

$$c = \lambda f \rightarrow f = \frac{c}{\lambda}$$

$$\lambda = 589\text{nm} = 589 \times 10^{-9}\text{m}$$

$$\rightarrow f = \frac{3 \times 10^8}{589 \times 10^{-9}} = 5.09 \times 10^{14} \text{Hz}$$

برای محاسبه‌ی انرژی از رابطه‌ی (۴-۱) استفاده می‌کنیم:

$$E = hf, h = 6.63 \times 10^{-34} \text{J.s}$$

$$\rightarrow E = 6.63 \times 10^{-34} \times 5.09 \times 10^{14} = 3.37 \times 10^{-19} \text{J}$$

تبدیل یکای انرژی از ژول به الکترون ولت: می‌دانیم  $1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{J}$ ، بنابراین:

$$E = 3.37 \times 10^{-19} \text{J} \times \frac{1\text{eV}}{1.6 \times 10^{-19} \text{J}} = 2.07 \text{eV}$$

ب) در قسمت الف) انرژی یک فوتون را محاسبه کردیم:  $E = 3.37 \times 10^{-19} \text{J}$ ، بنابراین انرژی کل برابر است با:  $E = nhf = n \times 3.37 \times 10^{-19} \text{J}$  که  $n$  تعداد کل فوتون‌هاست.

همچنین می‌دانیم انرژی برابر است با توان ضربدر زمان:

$$P = \Delta W, t = 1\text{min} = 60\text{s} \rightarrow E = Pt = 5 \times 60 = 300 \text{J}$$

$$E = nhf \rightarrow nhf = Pt \rightarrow n = \frac{Pt}{hf}$$

$$\rightarrow n = \frac{300}{3.37 \times 10^{-19}} = 9.0 \times 10^{20}$$

۲- توان باریکه‌ی نور خروجی یک لیزر گازی هلیوم نئون  $50\text{mW}$  است. اگر توان ورودی این لیزر  $50\text{W}$  باشد،

الف) بازده لیزر را حساب کنید.

ب) اگر طول موج باریکه‌ی نور خروجی  $633\text{nm}$  باشد، شمار فوتون‌هایی را پیدا کنید که در هر ثانیه از این لیزر گسیل می‌شود.



(۲- الف)

$$P_{\text{ورودی}} = 50 \text{ W}, P_{\text{خروجی}} = \Delta m W = 5 \times 10^{-3} \text{ W}$$

$$\text{بازده} = \frac{P_{\text{خروجی}}}{P_{\text{ورودی}}} \times 100 = \frac{5 \times 10^{-3}}{50} \times 100 = 0.01\%$$

ب) با استفاده از رابطه‌ی (۴-۱) برای انرژی یک فوتون داریم:  $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$  ، بنابراین انرژی کل برابر است

$$\text{با: } E = n \frac{hc}{\lambda} \text{ که } n \text{ تعداد کل فوتون‌هاست.}$$

همچنین می‌دانیم انرژی برابر است با توان ضربدر زمان:  $E = Pt$

$$E = n \frac{hc}{\lambda} \rightarrow n \frac{hc}{\lambda} = Pt \rightarrow n = \frac{Pt\lambda}{hc}$$

$$E = Pt$$

$$\lambda = 633 \text{ nm} = 633 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$c = 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P = 5 \times 10^{-3} \text{ W}$$

$$t = 1 \text{ s}$$

$$\rightarrow n = \frac{5 \times 10^{-3} \times 1 \times 633 \times 10^{-9}}{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8} = \frac{5 \times 633 \times 10^{-12}}{6.63 \times 3 \times 10^{-26}}$$

$$\rightarrow n = 159 / 1 \times 10^{14} = 1.59 \times 10^{16}$$

نکته‌ی مهم: رابطه‌ی بازده را می‌توان هم با انرژی و هم با توان نوشت:

$$\text{بازده} = \frac{E_{\text{خروجی}}}{E_{\text{ورودی}}} = \frac{P_{\text{خروجی}}}{P_{\text{ورودی}}} \times 100$$

۳- یک لامپ رشته‌ای با توان  $100 \text{ W}$  از فاصله‌ی یک کیلومتری دیده می‌شود. فرض کنید نور لامپ به‌طور یکنواخت در فضای اطراف آن منتشر می‌شود و بازده‌ی لامپ  $5\%$  است (یعنی  $5 \text{ W}$  تابش مرئی گسیل می‌کند) و فقط  $1\%$  درصد این تابش دارای طول‌موجی در حدود  $550 \text{ nm}$  است. در هر ثانیه چه تعداد فوتون با این طول‌موج وارد مردمک‌های چشم ناظری می‌شود که در این فاصله قرار دارد؟ (قطر مردمک را  $2 \text{ mm}$  در نظر بگیرید.)

$$P = 100 \text{ W}, \quad = 5\%$$

$$r = 1 \text{ km} = 10^3 \text{ m}, \lambda = 550 \text{ nm} = 550 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$D = 2 \text{ mm} = 2 \times 10^{-3} \text{ m}$$

بازده به صورت زیر تعریف می‌شود که با استفاده از آن توان خروجی را به‌دست می‌آوریم:

$$\text{بازده} = \frac{P_{\text{خروجی}}}{P_{\text{ورودی}}} \times 100 = 5\% \rightarrow \frac{5}{100} = \frac{P_{\text{خروجی}}}{100} \rightarrow P_{\text{خروجی}} = 5 \text{ W}$$

(دقت کنید توان خروجی در متن سوال داده شده اما به منظور درک بهتر مسئله آن را محاسبه کردیم.)



در ادامه انرژی‌ای که به مردمک‌های چشم ناظر می‌رسد را محاسبه می‌کنیم:

$$E = Pt \rightarrow E_{\text{چشم}} = 0.01 \times P_{\text{چشم}} \quad t, t = 1s \rightarrow E_{\text{چشم}} = 0.01 \times P_{\text{چشم}} \quad (1)$$

$$I = \frac{P}{A} \rightarrow P = IA \quad \text{از رابطه‌ی (۱۱-۳) در فصل سوم داریم:}$$

$$\rightarrow P_{\text{چشم}} = IA_{\text{چشم}} \quad (2) \xrightarrow{(1), (2)} E_{\text{چشم}} = 0.01 \times IA_{\text{چشم}}$$

$$A_{\text{چشم}} = \pi R^2, R = \frac{D}{2} = \frac{2 \times 10^{-3}}{2} = 10^{-3}$$

$A$  مساحت مردمک چشم است که چون ناظر دو چشم دارد، به هنگام جایگذاری در رابطه در ۲ ضرب می‌شود:

$$E_{\text{چشم}} = 0.01 \times I \times 2A$$

$I$  شدت انرژی لامپ است:

$$I = \frac{P_{\text{خروجی}}}{A}, A = 4\pi r^2, r = 10^{-3} \text{ m} \rightarrow E_{\text{چشم}} = 0.01 \times \frac{P_{\text{خروجی}}}{A} \times 2A$$

$$\rightarrow E_{\text{چشم}} = 0.01 \times \frac{5}{4\pi(10^{-3})^2} \times 2\pi(10^{-3})^2 = 2/5 \times 10^{-14} \text{ J}$$

$$E = nh \frac{c}{\lambda} \rightarrow n = E \frac{\lambda}{hc} = \frac{2/5 \times 10^{-14} \times 550 \times 10^{-9}}{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8} = 6/9 \times 10^4$$

توجه کنید که فوتون‌های وارد شده به هر دو مردمک ناظر را محاسبه کرده‌ایم.

۴- شدت تابشی خورشید در خارج جو زمین حدود  $1360 \text{ W/m}^2$  است، یعنی در هر ثانیه به

سطحی برابر  $1 \text{ m}^2$ ، مقدار انرژی  $1360 \text{ J}$  می‌رسد. وقتی این تابش به سطح زمین می‌رسد مقداری

زیادی از شدت آن، به علت جذب در جو و ابرها از دست می‌رود. اگر شدت تابشی متوسط

خورشید در سطح زمین به ازای هر متر مربع حدود  $300 \text{ W/m}^2$  باشد، در هر ثانیه چند فوتون

به هر متر مربع از سطح زمین می‌رسد؟ طول موج متوسط فوتون‌ها را  $570 \text{ nm}$  فرض کنید.

-۴

$$I = 300 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$t = 1s$$

$$A = 1 \text{ m}^2$$

$$\lambda = 570 \text{ nm} = 570 \times 10^{-9} \text{ m}$$

با استفاده از رابطه‌ی (۱۱-۳) در فصل سوم داریم:

$$I = \frac{P_{\text{av}}}{A} \rightarrow P_{\text{av}} = IA = 300 \times 1 = 300 \text{ W}$$

همچنین می‌دانیم انرژی برابر است با توان ضربدر زمان:  $E = P_{\text{av}} t$

$$\rightarrow E = 300 \times 1 = 300 \text{ J}$$

با استفاده از رابطه‌ی (۱-۴) انرژی هر فوتون برابر است با:

$$E = hf$$





و در نتیجه برای انرژی کل خواهیم داشت:

$$E = nh \frac{c}{\lambda} \rightarrow n = E \frac{\lambda}{hc} = \frac{300 \times 570 \times 10^{-9}}{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8} = 8.59 \times 10^2$$

##### ۵- الف) منظور از اثر فوتوالکتریک چیست؟

ب) توضیح دهید نظریه‌ی کوانتومی تابش که توسط اینشتین مطرح شده و در آن نور به صورت مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی در نظر گرفته شد چگونه به تبیین اثر فوتوالکتریک کمک کرد؟

الف) وقتی نوری با بسامد مناسب مانند نور فرابنفش به سطح فلزی بتابد، الکترون‌هایی از آن گسیل می‌شوند. این پدیده‌ی فیزیکی را اثر فوتوالکتریک و الکترون‌های جدا شده از سطح فلز را فتوالکترئون می‌نامند.

ب) در دیدگاه کلاسیک؛ نور به عنوان یک موج الکترومغناطیسی به تمام الکترون‌های فلز نیروی  $\vec{F} = -e\vec{E}$  را وارد می‌کند و آن‌ها را به نوسان وامی‌دارد. بنابراین زمانی که الکترون‌ها انرژی جنبشی لازم را به دست آورند، از سطح فلز جدا می‌شوند. در نتیجه این پدیده باید با هر بسامدی رخ دهد، در حالی که در عمل این اتفاق نمی‌افتد.

برای رفع این ابهام اینشتین فرض کرد که وقتی نوری تکفام بر سطح فلزی می‌تابد، هر فوتون صرفاً با یکی از الکترون‌های فلز برهم‌کنش می‌کند. اگر فوتون انرژی کافی داشته باشد، الکترون به طور آنی از فلز گسیل می‌شود. در این صورت بخشی از انرژی فوتون صرف جدا کردن الکترون از فلز و مابقی آن به انرژی جنبشی الکترون خارج شده تبدیل می‌شود. اما اگر فوتون انرژی کافی نداشته باشد؛ یعنی بسامد آن از حد مشخصی کمتر باشد ( $E = hf$ ) الکترون انرژی کافی برای جدا شدن از سطح فلز را پیدا نمی‌کند و پدیده‌ی فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد.

##### ۶- توضیح دهید برای یک فلز معین، تغییر هر یک از کمیت‌های زیر چه تأثیری در نتیجه‌ی اثر فوتوالکتریک دارد.

الف) افزایش یا کاهش بسامد نور فرودی نسبت به بسامد آستانه

ب) افزایش شدت نور فرودی در بسامدهای کوچک‌تر از بسامد آستانه

پ) کاهش شدت نور فرودی در بسامدهای بزرگ‌تر از بسامد آستانه

الف) با افزایش بسامد نسبت به بسامد آستانه، اثر فوتوالکتریک روی می‌دهد و با کاهش بسامد، الکترونی از سطح فلز جدا نخواهد شد.

ب) افزایش شدت نور فرودی در بسامدهای کوچک‌تر از بسامد آستانه، تأثیری در اثر فوتوالکتریک ندارد.

پ) در بسامدهای بزرگ‌تر از بسامد آستانه، با کاهش شدت نور فرودی؛ تعداد الکترون‌های کمتری از سطح فلز جدا می‌شوند و جریان کمتری به وجود می‌آید.



## ۲-۴ و ۳-۴ طیف خطی و مدل اتم رادرفورد - بور

۷- الف) طیف گسیلی یک جسم در چه مواردی پیوسته و در چه مواردی گسسته یا خطی است؟ منشأ فیزیکی این تفاوت را توضیح دهید.

ب) توضیح دهید چگونه می توان طیف های گسیلی پیوسته و خطی را ایجاد کرد.

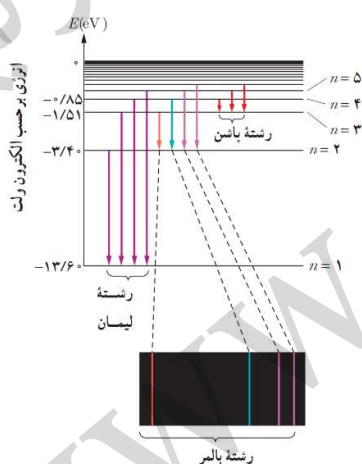
الف) هنگامی که جسمی را حرارت می دهیم، امواج الکترومغناطیسی از آن ساطع می شوند که با استفاده از یک آشکارساز می توان طیف گسیلی از جسم را مشاهده کرد. این طیف پیوسته است. ولی اگر امواج الکترومغناطیسی ساطع شده را از یک گاز کم فشار عبور دهیم، طیفی که روی پرده تشکیل می شود، گسسته خواهد بود و دلیل این امر آن است که بعضی از طول موج ها در طیف توسط اتم های گاز جذب می شوند.

ب) برای تشکیل طیف گسیلی پیوسته معمولاً از جامدات استفاده می شود. زیرا برهم کنش بین اتم های سازنده یک جسم جامد بسیار قوی است در حالی که در گازهای کم فشار و رقیق، برهم کنش بین اتم ها به اندازه ی جامدات قوی نیست و در نتیجه به جای طیف پیوسته، طیف گسسته گسیل می شود.

طیف گسیلی گازها شامل طول موج های معینی است و برای هر گاز منحصر به فرد می باشد.

روش کار به این ترتیب است که، از یک لامپ باریک و بلند شیشه ای که حاوی مقداری گاز رقیق و کم فشار است استفاده می شود. دو الکترود به نام های آند و کاتد در دو طرف این لامپ قرار دارد که به ترتیب به پایانه های مثبت و منفی یک منبع تغذیه با ولتاژ بالا وصل شده اند. این ولتاژ بالا، سبب تخلیه ی الکتریکی در گاز می شود و اتم های گاز درون لامپ شروع به گسیل نور می کنند.

۸- شکل زیر سه رشته ی طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی را روی نمودار تراز انرژی نشان می دهد



که براساس مدل اتمی بور رسم شده است.

الف) منظور از  $n=1$  و انرژی  $13.6 \text{ eV}$  چیست؟

ب) براساس مدل اتمی بور دلیل خطی بودن طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی را توضیح دهید.

پ) اختلاف کوتاه ترین و بلندترین طول موج در هر رشته را،

گستره ی طول موج های آن رشته می نامند. گستره ی طول -

موج های رشته ی لیمان ( $n'=1$ ) را پیدا کنید.

۸ الف)  $n$ : عدد کوانتومی نامیده می شود که مدار الکترون را دور

هسته مشخص می کند و  $n=1$  پایین ترین تراز انرژی یا حالت

پایه است.

$13.6 \text{ eV}$ : انرژی الکترون در حالت پایه و کمترین مقدار مجاز انرژی برای الکترون است.



## دوره نهایی فول فیزیک

ب) با توجه به مفروضات مدل بود، هنگام گذار الکترون از یک حالت مانا با انرژی بیشتر به یک حالت مانا با انرژی کمتر یک فوتون تابش می‌شود و از آنجایی که مدارها و انرژی‌های الکترون‌ها در هر اتم کوانتیده‌اند؛ یعنی فقط مدارها و انرژی‌های گسسته‌ی معینی مجاز هستند، طیف خطی است.

پ) گستره‌ی طول موج، محدوده‌ی بین کمترین و بیشترین طول موج است:

$$\text{بنابراین با استفاده از معادله‌ی ریذبرگ که به فرم } \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2} \right) \text{ می‌باشد، داریم:}$$

کمترین طول موج:  $(n_L = 1, n_U = \infty)$

$$\rightarrow \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2} \right) = 0.011 \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty} \right)$$

$$\frac{1}{\infty} = 0 \rightarrow \frac{1}{\lambda} = 0.011 \rightarrow \lambda = 90.0 \text{ nm}$$

بیشترین طول موج:  $(n_L = 1, n_U = 2)$

$$\rightarrow \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2} \right) = 0.011 \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = 0.011 \left( 1 - \frac{1}{4} \right)$$

$$\rightarrow \frac{1}{\lambda} = 0.011 \times \frac{3}{4} = 0.008175 \rightarrow \lambda = 121.2 \text{ nm}$$

$$\Delta\lambda = 121.2 - 90 = 31.2 \text{ nm}$$

۹- الف) فرایند جذب فوتون توسط اتم را توضیح دهید.

ب) با استفاده از مدل بور، چگونه می‌توانید خط‌های تاریک در طیف جذبی گاز هیدروژن اتمی را توجیه کنید؟

پ) وقتی که نور فرابنفش به بسیاری از مواد تابیده شود، تابش مرئی از خود گسیل می‌کنند. این پدیده‌ی فیزیکی نمونه‌ای از فلوئورسانسی است. آزمایش نشان می‌دهد در پدیده‌ی فلوئورسانسی طول‌موج‌های گسیل یافته معمولاً برابر همان طول‌موج نور فرودی یا بزرگ‌تر از آن است. این پدیده را چگونه به کمک مدل بور می‌توانید تبیین کنید؟

الف) می‌دانیم الکترون‌ها هنگام گذار از تراز انرژی بالاتر به تراز انرژی پایین‌تر، فوتون‌هایی را گسیل می‌کنند. عکس فرایند گسیل الکترون، جذب خوانده می‌شود. در این فرایند، الکترون فوتونی که انرژی لازم برای جهش دارد را جذب می‌کند و از تراز انرژی پایین‌تر به تراز انرژی بالاتر می‌رود.  
ب) با عبور نور سفید از درون گاز هیدروژن اتمی، در طیف آن خط‌های تاریکی ظاهر می‌شود. این خط‌ها طول موج‌هایی هستند که توسط اتم‌های گاز جذب شده‌اند و باعث جهش الکترون از تراز پایین‌تر به تراز بالاتر می‌شوند.

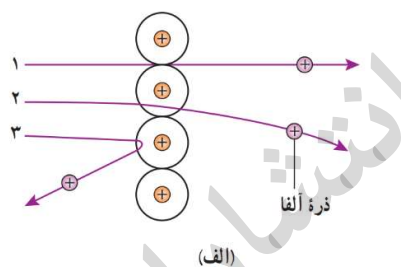


پ) هنگامی که به یک ماده نور فرابنفش تابیده شود، الکترون به چند تراز بالاتر رفته و اتم به حالت برانگیخته می‌رود. در برگشت، الکترون با پرش‌های کوتاه و پله‌پله به حالت پایه برمی‌گردد و فوتون‌های کم‌انرژی‌تر گسیل می‌کند که بعضی از آن‌ها در ناحیه‌ی نور مرئی است. دقت کنید:

منظور از پرش‌های کوتاه و پله‌پله آن است که مقادیر  $n_L$  و  $n_U$  به یکدیگر نزدیک هستند و در نتیجه طبق رابطه‌ی  $\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2} \right)$  طول موج‌ها نزدیک به طول موج فرودی یا بزرگ‌تر از آن است.

در طیف امواج الکترومغناطیسی، طول موج نور مرئی بیشتر از نور فرابنفش است.

۱۰- مبنای مدل رادرفورد، نتایج آزمایش‌هایی بود که از پراکندگی ذره‌های آلفا توسط یک ورقه‌ی نازک طلا به‌دست آمده بود (شکل الف).

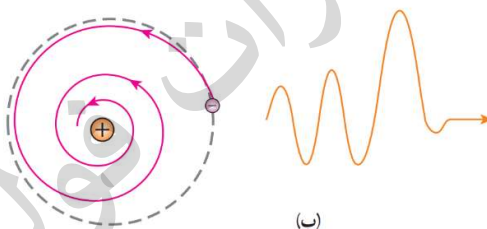


الف) توضیح دهید چرا بیشتر ذره‌های آلفا مانند ذره‌های ۱ و ۲ یا اصلاً منحرف نمی‌شوند یا به مقدار کمی منحرف می‌شوند.

ب) تنها تعداد بسیار کمی از ذره‌ها مانند ذره‌ی ۳ منحرف می‌شوند. این امر چه نکته‌ای را درباره‌ی ساختار اتم طلا نشان می‌دهد؟

پ) چرا رادرفورد در آزمایش خود از صفحه‌ی بسیار نازک طلا استفاده کرده بود؟

ت) شکل ب، به کدام مشکل مدل رادرفورد اشاره دارد؟ در بور چگونه این مشکل رفع شده است؟



الف) زیرا بیشتر فضای اتم خالی است و تعداد بسیار زیادی

از ذرات آلفا که از این فضای خالی عبور می‌کنند، بدون انحراف از ورقه خارج می‌شوند (مانند ذره‌ی ۱). همچنین ذراتی که با انحراف اندکی از ورقه‌ی طلا خارج می‌شوند (مانند ذره‌ی ۲)، از نزدیکی هسته‌ی اتم عبور می‌کنند و نیروی دافعه‌ی بین بارهای مثبت همنام موجب تغییر مسیر آن‌ها می‌گردد.

ب) ذره‌ی آلفا در مقایسه با الکترون و پروتون سنگین است و به آسانی از مسیر خود منحرف نمی‌شود. در نتیجه انحراف ذره‌ی ۳، به معنی برخورد آن با شیء پر جرمی بوده است. بنابراین باید هسته‌ای چگال و دارای بار مثبت در مرکز اتم وجود داشته باشد. دقت کنید اگر بار هسته منفی بود، ذره‌ی آلفا جذب هسته می‌شد!

پ) رادرفورد به دنبال فلزی سنگین بود، زیرا می‌خواست پراکندگی ذرات آلفا را در اتمی با تعداد الکترون‌های زیاد بررسی کند. (عدد اتمی طلا ۷۹ است). علاوه بر این قابلیت شکل دادن و نازک کردن طلا از همه فلزات بیشتر است.

ت) در مدل رادرفورد فرض می‌شود الکترون‌ها به دور هسته گردش می‌کنند، اگر چنین فرضی درست باشد، این حرکت پایدار نمی‌ماند. زیرا حرکت مداری الکترون به دور هسته شتابدار است (فصل دوم — حرکت



## دوره نهایی فول فیزیک

دایره‌ای یکنواخت). حرکت شتابدار سبب تابش امواج الکترومغناطیسی می‌شود و با تابش موج الکترومغناطیسی توسط الکترون، از انرژی آن کاسته شده و کاهش انرژی باعث می‌شود که شعاع مدار الکترون به دور هسته به تدریج کوچک و کوچک‌تر شده و بسامد حرکت آن بیشتر شود. افزایش تدریجی بسامد حرکت مداری الکترون‌ها، سبب می‌شود تا بسامد موج الکترومغناطیسی گسیل شده نیز، به تدریج زیاد شود. بنابراین باید طیف امواج الکترومغناطیسی گسیل شده از اتم پیوسته باشد و الکترون پس از گسیل پی‌درپی امواج الکترومغناطیسی روی هسته فرو افتد.

در مدل بور فرض می‌شود وقتی که الکترون در یک مدار یا حالت مانا قرار دارد، هیچ نوع تابش الکترومغناطیسی گسیل نمی‌کند و تنها زمانی که الکترون از مداری با انرژی بیشتر به مداری با انرژی کمتر جهش کند، یک فوتون گسیل می‌شود.

۱۱- با استفاده از رابطه‌ی بور برای انرژی الکترون در اتم هیدروژن،

الف) اختلاف انرژی  $\Delta E(n_U \rightarrow n_L) = E_U - E_L$  را حساب کنید.

ب) نشان دهید که:

$$\Delta E(4 \rightarrow 2) = \Delta E(4 \rightarrow 3) + \Delta E(3 \rightarrow 2)$$

$$\Delta E(4 \rightarrow 1) = \Delta E(4 \rightarrow 2) + \Delta E(2 \rightarrow 1)$$

لف) رابطه‌ی بور برای انرژی الکترون در اتم هیدروژن به شکل زیر است:

$$E_n = -\frac{13.6 \text{ eV}}{n^2}$$

$$\Delta E(n_U \rightarrow n_L) = E_U - E_L = -\frac{13.6}{n_U^2} - \left(-\frac{13.6}{n_L^2}\right) = 13.6 \left(\frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2}\right)$$

ب)

$$1) \quad \Delta E(4 \rightarrow 2) = \Delta E(4 \rightarrow 3) + \Delta E(3 \rightarrow 2)$$

$$\Delta E(4 \rightarrow 2) = 13.6 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2}\right)$$

$$\Delta E(4 \rightarrow 3) = 13.6 \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2}\right), \Delta E(4 \rightarrow 3) = 13.6 \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2}\right)$$

$$\Delta E(4 \rightarrow 3) + \Delta E(3 \rightarrow 2) = 13.6 \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2}\right) + 13.6 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right) =$$

$$13.6 \left(-\frac{1}{4^2}\right) + 13.6 \left(\frac{1}{2^2}\right) = 13.6 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2}\right) = \Delta E(4 \rightarrow 2)$$



## دوره نهایی فول فیزیک

$$۲) \Delta E_{(۴ \rightarrow ۱)} = \Delta E_{(۴ \rightarrow ۲)} + \Delta E_{(۲ \rightarrow ۱)}$$

$$\Delta E_{(۴ \rightarrow ۱)} = ۱۳ / ۶ \left( \frac{1}{۱^2} - \frac{1}{۴^2} \right)$$

$$\Delta E_{(۴ \rightarrow ۲)} = ۱۳ / ۶ \left( \frac{1}{۲^2} - \frac{1}{۴^2} \right), \Delta E_{(۲ \rightarrow ۱)} = ۱۳ / ۶ \left( \frac{1}{۱^2} - \frac{1}{۲^2} \right)$$

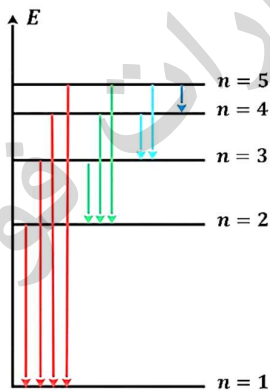
$$\Delta E_{(۴ \rightarrow ۲)} + \Delta E_{(۲ \rightarrow ۱)} = ۱۳ / ۶ \left( \frac{1}{۲^2} - \frac{1}{۴^2} \right) + ۱۳ / ۶ \left( \frac{1}{۱^2} - \frac{1}{۲^2} \right) =$$

$$۱۳ / ۶ \left( -\frac{1}{۴^2} \right) + ۱۳ / ۶ \left( \frac{1}{۱^2} \right) = ۱۳ / ۶ \left( \frac{1}{۱^2} - \frac{1}{۴^2} \right) = \Delta E_{(۴ \rightarrow ۱)}$$

۱۲- الکترون اتم هیدروژنی در تراز  $n = ۵$  قرار دارد.

الف) با در نظر گرفتن تمام گذارهای ممکن، اگر این اتم به حالت پایه برود، امکان گسیل چند نوع فوتون با انرژی متفاوت وجود دارد؟

ب) فرض کنید فقط گذارهای  $\Delta n = ۱$  مجاز باشند، در این صورت امکان گسیل چند نوع فوتون با انرژی متفاوت وجود دارد؟



$$۴ + ۳ + ۲ + ۱ = ۱۰$$

۱۲- از تراز  $n = ۵$  به ترازهای پایین تر ۴ گذار وجود دارد.

از تراز  $n = ۴$  به ترازهای پایین تر ۳ گذار وجود دارد.

از تراز  $n = ۳$  به ترازهای پایین تر ۲ گذار وجود دارد.

از تراز  $n = ۲$  به ترازهای پایین تر ۱ گذار وجود دارد.

بنابراین تمام گذارهای ممکن برابر است با:

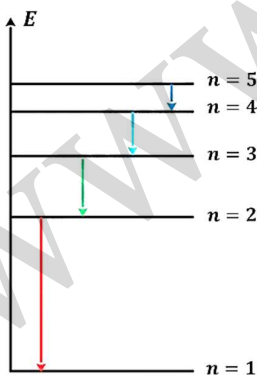
ب) با شرط  $\Delta n = ۱$ ، ۴ گذار ممکن است:

$$۵ \rightarrow ۴$$

$$۴ \rightarrow ۳$$

$$۳ \rightarrow ۲$$

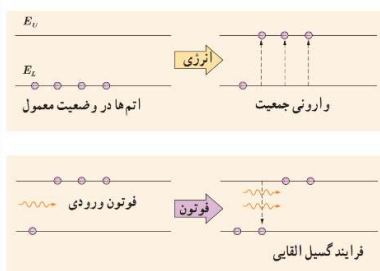
$$۲ \rightarrow ۱$$





## ۴-۴ لیزر

۱۳- شکل زیر فرایند ایجاد باریکه‌ی لیزر را به طور طرح‌وار در ۴ مرحله نشان می‌دهد.



الف) منظور از عبارت «اتم‌ها در وضعیت معمول» چیست؟

ب) نقش انرژی داده‌شده چیست و معمولاً این انرژی چگونه تأمین می‌شود؟

پ) منظور از «وارونی جمعیت» چیست؟

ت) انرژی فوتون ورودی چقدر باید باشد تا فرایند گسیل القایی انجام شود؟

ث) فوتون‌هایی که بر اثر فرایند گسیل القایی و جهش

الکترون‌ها به تراز پایین‌تر ایجاد می‌شوند چه ویژگی‌های مشترکی دارند؟

الف) «اتم‌ها در وضعیت معمول» یعنی الکترون‌ها در اتم در حالت پایه‌اند و برانگیخته نشده‌اند.

ب) «انرژی داده شده» الکترون‌ها را از حالت پایه به حالت برانگیخته می‌برد. اگر انرژی کافی به اتم‌ها داده شود، الکترون‌های بیشتری به ترازهای بالاتر برانگیخته می‌شوند تا وارونی جمعیت رخ دهد.

این انرژی می‌تولند به روش‌های متعددی از جمله درخش‌های شدید نور معمولی و یا تخلیه‌های ولتاژ بالا فراهم شود. در واقع با تابش فوتون‌هایی، انرژی لازم به الکترون داده می‌شود تا به ترازهای بالاتر جهش کند.

پ) وارونی جمعیت الکترون‌ها در یک محیط لیزری، وضعیتی است که تعداد الکترون‌ها در ترازهایی موسوم به ترازهای شبه پایدار نسبت به تراز پایین‌تر بیشتر باشند. الکترون‌ها در این ترازها، مدت زمان بسیار طولانی‌تری نسبت به حالت برانگیخته‌ی معمولی باقی می‌مانند. این زمان طولانی‌تر فرصت بیشتری را برای افزایش وارونی جمعیت و در نتیجه تقویت نور لیزر فراهم می‌کند.

ت) برای گسیل القایی، انرژی فوتون ورودی باید دقیقاً با اختلاف انرژی‌های دو تراز یعنی؛  $E_U - E_L$  یکسان باشد.

ث) گسیل القایی سه ویژگی عمده دارد:

یک فوتون وارد و دو فوتون خارج می‌شود. این فرآیند تعداد فوتون‌ها را افزایش می‌دهد و نور را تقویت می‌کند.

فوتون گسیل شده در همان جهت فوتون ورودی حرکت می‌کند.

فوتون گسیل شده با فوتون ورودی همگام یا دارای همان فاز است. در نتیجه فوتون‌هایی که باریکه‌ی لیزر را ایجاد می‌کنند هم‌بسامد، هم‌جهت و هم‌فاز هستند.





## دوره نهایی فول فیزیک

۱۴- در شکل زیر نحوه‌ی گسیل فوتون‌ها از سه چشمه‌ی نور شامل لامپ رشته‌ای، چراغ قوه با لامپ رشته‌ای و لیزر با یکدیگر مقایسه شده است.

الف) با توجه به آنچه در این فصل فرا گرفتید تفاوت فوتون‌های گسیل شده از هر چشمه را با یکدیگر بیان کنید.



ب) چرا توصیه‌ی جدی می‌شود که هیچ‌گاه به طور مستقیم به باریکه‌ی نور ایجاد شده توسط لیزر نگاه نکنید؟



الف) فوتون‌های خروجی از یک لامپ رشته‌ای در تمام جهت‌ها گسیل و پراکنده می‌شوند و برای ایجاد آن‌ها به فرایند گسیل القایی نیازی نیست.

در ساختمان چراغ قوه، در مقابل لامپ آن یک عدسی قرار داده شده است تا فوتون‌ها در یک جهت پراکنده شوند ولی هم‌فاز و هم‌گام نیستند و برای ایجاد آن‌ها نیز به فرایند گسیل القایی نیازی نیست.

در لیزر فوتون‌ها در فرایند گسیل القایی ایجاد می‌شوند و هم‌جهت، هم‌فاز و هم‌بسامد هستند.

به شکل دقت کنید؛ در فوتون‌های خروجی از لیزر، قله‌ها و دره‌ها دقیقاً بر هم منطبق‌اند و این همان معنای هم‌فازی است.

ب) نور لیزر دارای انرژی زیاد و قدرت نفوذ بسیار بالاست و نگاه مستقیم به آن باعث آسیب به چشم می‌شود.

## ۴-۵ ساختار هسته

۱۵- مرتبه‌ی بزرگی تعداد نوترون‌هایی را که می‌توان تنگ هم در یک توپ تنیس به شعاع  $3/2 \text{ cm}$

جای داد، تخمین بزنید. در این صورت مرتبه‌ی بزرگی جرم این توپ چقدر است؟

(مرتبه‌ی بزرگی شعاع و جرم نوترون را به ترتیب  $10^{-15} \text{ m}$  و  $10^{-27} \text{ kg}$  در نظر بگیرید).

$$r_N = 10^{-15} \text{ m}, m_N = 10^{-27} \text{ kg}, R = 3/2 \text{ cm} = 3/2 \times 10^{-2} \text{ m}$$

تعداد نوترون‌ها برابر است با حجم توپ تقسیم بر حجم یک نوترون. می‌دانیم حجم کره از رابطه‌ی

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 \text{ محاسبه می‌شود. بنابراین؛}$$

$$V_{\text{Ball}} = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \times 3/14 \times (3/2 \times 10^{-2})^3 = 4/18 \times 32/76 \times 10^{-6}$$

$$V_{\text{Ball}} = 137/2 \times 10^{-6} = 1/37 \times 10^{-4} \approx 10^{-4} \text{ m}^3$$





## دوره نهایی فول فیزیک

$$V_N = \frac{4}{3} \pi r_N^3 = \frac{4}{3} \times \frac{3}{14} \times (10^{-15})^3 = 4/18 \times 10^{-45} \approx 10^{-45} \text{ m}^3$$

$$\rightarrow n = \frac{V_{\text{Ball}}}{V_N} = \frac{10^{-4}}{10^{-45}} \approx 10^{41}$$

جرم توپ برابر است با تعداد نوترون‌ها ضربدر جرم یک نوترون:

$$n_N = 10^{41}, m_N = 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\rightarrow m = 10^{41} \times 10^{-27} = 10^{14} \text{ kg}$$

N: نوترون

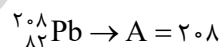
Ball: توپ

۱۶- برای  ${}_{82}^{208}\text{Pb}$  مطلوب است:

الف) تعداد نوکلئون‌ها      ب) تعداد نوترون‌ها      پ) بار الکتریکی خالص هسته



الف) تعداد نوکلئون‌ها، همان عدد جرمی است که برابر ۲۰۸ می‌باشد.



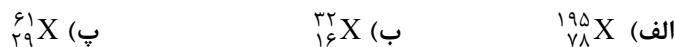
ب) تعداد نوترون‌ها برابر است با عدد جرمی منهای تعداد پروتون‌ها:

$$N = A - Z = 208 - 82 = 126$$

پ) هسته شامل پروتون‌ها و نوترون‌هاست و چون نوترون‌ها بدون بار هستند، بار هسته مجموع بار پروتون‌های آن است:

$$q = +ne = +82 \times 1/6 \times 10^{-19} = +131/2 \times 10^{-19} \text{ C}$$

۱۷- در هر یک از موارد زیر نماد X چه عنصری را نشان می‌دهد و در هسته‌ی هر یک چند نوترون وجود دارد؟ در صورت لزوم از جدول تناوبی استفاده کنید.

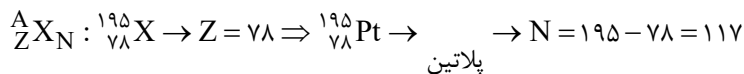


N تعداد نوترون‌ها و Z تعداد پروتون‌ها و A عدد جرمی؛ مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌هاست:

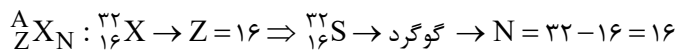
الف)



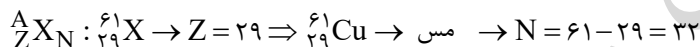
## دوره نهایی فول فیزیک



(ب)



(پ)



۱۸- آیا می توان ایزوتوپ  ${}^{61}_{25}X$  را با روش شیمیایی از ایزوتوپ  ${}^{59}_{25}X$  جدا کرد؟ از ایزوتوپ  ${}^{61}_{26}X$  چگونه؟ پاسخ خود را توضیح دهید.

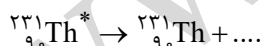
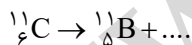
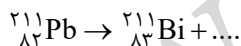
دو ایزوتوپ  ${}^{61}_{25}X$  و  ${}^{59}_{25}X$  دارای عدد اتمی یکسان هستند؛ بنابراین خواص شیمیایی مشابهی دارند و نمی توان آن ها را با روش های شیمیایی از هم جدا کرد. در حالی که دو ایزوتوپ  ${}^{61}_{25}X$  و  ${}^{61}_{26}X$  را می توان با روش های شیمیایی از هم جدا کرد زیرا دارای اعداد اتمی متفاوت هستند.

خواص فیزیکی: خواصی که می توان با مشاهده و یا لمس ماده تعیین کرد؛ مانند دما، فشار، طول، حجم و ... .

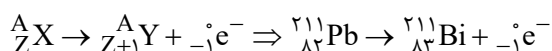
خواص شیمیایی: خواصی هستند که طی یک واکنش شیمیایی آشکار می شوند؛ مانند میزان اسیدی بودن، سمی بودن، واکنش پذیری و ... .

## ۴-۶ پرتو زایی طبیعی و نیمه عمر

۱۹- جاهای خالی در فرایندهای واپاشی زیر نشان دهنده ی یک یا چند ذره ی  $\alpha$ ،  $\beta^+$  یا  $\beta^-$  است. در هر واکنش، جای خالی را کامل کنید.



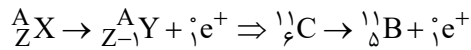
(۱ - رابطه ی (۴-۹) نشان می دهد که در واپاشی  $\beta^-$  تعداد پروتون های هسته ی دختر یک واحد از تعداد پروتون های هسته ی مادر بیشتر است:



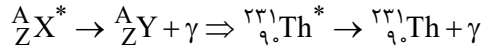


## دوره نهایی فول فیزیک

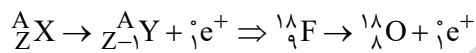
(۲) رابطه‌ی (۴-۱۰) نشان می‌دهد که در واپاشی  $\beta^+$  تعداد پروتون‌های هسته‌ی دختر یک واحد از تعداد پروتون‌های هسته‌ی مادر کمتر است:



(۳) طبق رابطه‌ی (۴-۱۱) در واپاشی گاما، هسته‌ی مادر با گسیل پرتوی گاما از حالت برانگیخته به حالت پایه می‌رود:



(۴) مانند مورد (۲)، واپاشی  $\beta^+$  داریم:



۲۰- هسته‌ی دختر به‌دست آمده از هر یک از واپاشی‌های زیر را به صورت  ${}_Z^AX$  مشخص کنید.

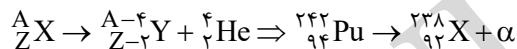
الف)  ${}_{94}^{242}\text{Pu}$  واپاشی  $\alpha$  انجام دهد.

ب) سدیم  ${}_{11}^{24}\text{Na}$  واپاشی  $\beta^-$  انجام دهد.

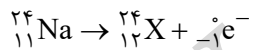
پ) نیتروژن  ${}_{7}^{13}\text{N}$  واپاشی  $\beta^-$  انجام دهد.

ت)  ${}_{8}^{15}\text{O}$  واپاشی  $\beta^+$  انجام دهد.

الف) رابطه‌ی (۴-۸) نشان می‌دهد که در واپاشی  $\alpha$ ، ۴ واحد از عدد جرمی و ۲ واحد از عدد اتمی هسته‌ی مادر کم می‌شود:



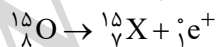
ب) با توجه به توضیحات داده شده در قسمت (۱) سوال ۱۹ خواهیم داشت:



پ) مانند قسمت (ب) داریم:



ت) با توجه به توضیحات داده شده در قسمت (۲) سوال ۱۹ خواهیم داشت:



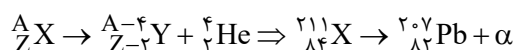


## دوره نهایی فول فیزیک

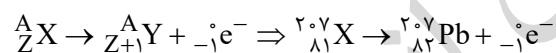
۲۱- سرب  $^{207}_{82}\text{Pb}$  هسته‌ای دختر پایداری است که می‌تواند از واپاشی  $\alpha$  یا واپاشی  $\beta^-$  حاصل شود. فرایندهای مربوط به هر یک از این واپاشی‌ها را بنویسید. در هر مورد هسته‌ی مادر را به صورت  $^A_Z X$  مشخص کنید.

واپاشی  $\alpha$ : رابطه‌ی (۸-۴) نشان می‌دهد که در این فرایند، ۴ واحد از عدد جرمی و ۲ واحد از عدد اتمی هسته‌ی مادر کم می‌شود:

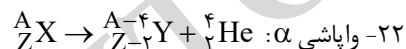
$$207 + 4 = 211, 82 + 2 = 84$$



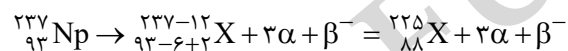
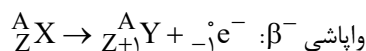
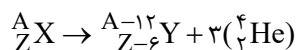
واپاشی  $\beta^-$ : رابطه‌ی (۹-۴) نشان می‌دهد که در این فرایند تعداد پروتون‌های هسته‌ی دختر یک واحد از تعداد پروتون‌های هسته‌ی مادر بیشتر است:



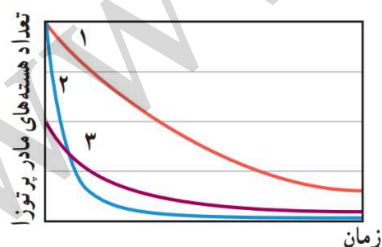
۲۲- نپتونیم  $^{237}_{93}\text{Np}$  ایزوتوپی است که در راکتورهای هسته‌ای تولید می‌شود. این ایزوتوپ ناپایدار است و واپاشی آن از طریق گسیل ذرات  $\alpha$ ،  $\beta^-$  و  $\alpha$  صورت می‌گیرد. پس از وقوع تمام این واپاشی‌ها، عدد اتمی و عدد جرمی هسته‌ی نهایی چقدر است؟



در نتیجه برای واپاشی ۳ ذره خواهیم داشت:



۲۳- شکل زیر نمودار تغییرات تعداد هسته‌های مادر پرتوزای سه نمونه را برحسب زمان نشان می‌دهد. نیمه‌عمر این سه نمونه را با هم مقایسه کنید.



- خط رسم شده در شکل زمان یکسانی را برای هر سه هسته‌ی پرتوزا نشان می‌دهد؛ با توجه به شکل می‌توان گفت در زمان  $t$  داریم:

$$N_1 > N_2 > N_3$$

از رابطه‌ی (۱۲-۴) داریم:



$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n, n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}$$

$$N_1 > N_2 > N_3 \xrightarrow{N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n} n_1 > n_3 > n_2$$

$$\xrightarrow{n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}} (T_{\frac{1}{2}})_1 > (T_{\frac{1}{2}})_3 > (T_{\frac{1}{2}})_2$$

دقت کنید هرچه اندازه شیب متوسط نمودار بیشتر باشد نشان از واپاشی سریعتر و یا به عبارت دیگر نیمه عمر کوتاهتر ماده پرتوزا دارد.

۲۴- هنگامی که نیتروژن جو زمین توسط پرتوهای کیهانی (که معمولاً از جنس پروتون، ذره‌های  $\alpha$  و الکترون هستند) بمباران می‌شود، ایزوتوپ پرتوزای کربن ۱۴ با آهنگ ثابتی در لایه‌های فوقانی جو تولید می‌شود. این کربن پرتوزا با کربن ۱۲ که به طور طبیعی در جو وجود دارد، درهم می‌آمیزد. بررسی‌ها نشان داده است که به ازای هر ۱۰۰۰۰ میلیارد اتم پایدار کربن ۱۲، تقریباً یک اتم پرتوزای کربن ۱۴ از این طریق وارد جو می‌شود. اتم‌های کربن جوّی از طریق فعالیت‌های بیولوژیکی از قبیل فتوسنتز و تنفس، به‌نحو کاتوره‌ای مکان خود را عوض می‌کنند و به بدن جانداران منتقل می‌شوند. به طوری که اتم‌های کربن هر موجود زنده شامل کسر کوچک و ثابتی از ایزوتوپ پرتوزای کربن ۱۴ است. وقتی موجود زنده‌ای می‌میرد، مقدار کربن پرتوزای به تله افتاده در موجود غیرزنده، با نیمه‌عمر ۵۷۳۰ سال رو به کاهش می‌گذارد. کربن ۱۴ موجود در یک نمونه‌ی زغال قدیمی، ۱/۵۶ درصد (معادل  $\frac{1}{64}$ ) مقدار عادی کربن ۱۴ موجود در زغالی است که تازه تولید شده است. سن تقریبی این زغال قدیمی چقدر است؟

$$N = \frac{1}{64} N_0, T_{\frac{1}{2}} = 5730 \text{ year}$$

تعداد هسته‌های پرتوزای باقی‌مانده از رابطه‌ی (۴-۱۲) به‌دست می‌آید:

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n, \frac{1}{64} N_0 = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow \frac{1}{64} = \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

$$\rightarrow \frac{1}{2^6} = \frac{1}{2^n} \rightarrow n = 6$$



## دوره نهایی فول فیزیک

$$n = 6, n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} \rightarrow 6 = \frac{t}{5730} \rightarrow t = 6 \times 5730 = 34380 \text{ year}$$

۲۵- نیمه عمر بیسموت ۲۱۲ حدود ۶۰ دقیقه است. پس از گذشت چهار ساعت، چه کسری از ماده‌ی اولیه، در نمونه‌ای از این بیسموت، باقی می‌ماند؟

$$T_{\frac{1}{2}} = 60 \text{ min} = 1 \text{ h}$$

$$t = 4 \text{ h}$$

تعداد هسته‌های پرتوزای باقیمانده از رابطه‌ی  $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n$  به دست می‌آید. بنابراین باید ابتدا را محاسبه کنیم:

دقت کنید که زمان‌ها باید یکای یکسان داشته باشند.

$$n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} = \frac{4}{1} = 4$$

$$\rightarrow N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^4 = \frac{1}{16} N_0$$