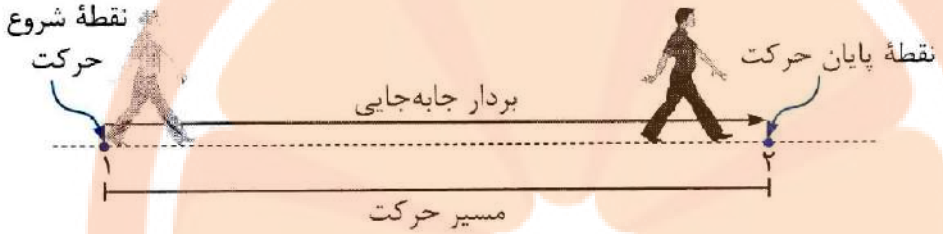
@physicsjeihoodi

پرسش(۱-۱) صفحهٔ ۲ و ۳ کتاب درسی

۱ شکل الف شخصی را در حال پیاده‌روی در راستای خط راست و بدون تغییر جهت، از مکان ۱ به مکان ۲ نشان می‌دهد. مسیر حرکت و بردار جابه‌جایی شخص را روی شکل مشخص و اندازهٔ بردار جابه‌جایی را با مسافت مقایسه کنید.

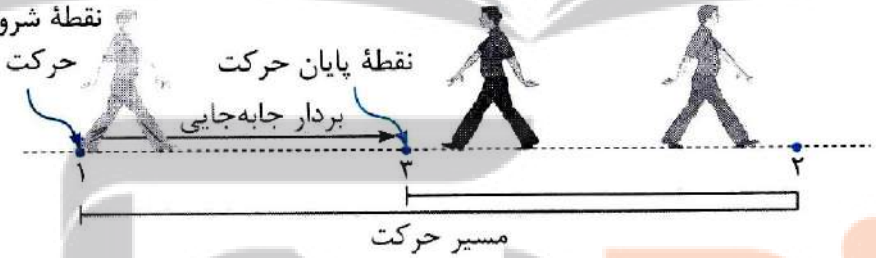
(الف)



اندازهٔ بردار جابه‌جایی با طول مسیر (مسافت) برابر است زیرا شخص (متحرک) در مسیر مستقیم بدون تغییر جهت (برگشتن) حرکت کرده است.

۲ شخص پس از رسیدن به مکان ۲، برمی‌گردد و روی همان مسیر به مکان ۳ می‌رود (شکل ب). مسیر حرکت و بردار جابه‌جایی شخص را روی شکل مشخص و اندازهٔ بردار جابه‌جایی آن را با مسافت پیموده‌شده مقایسه کنید.

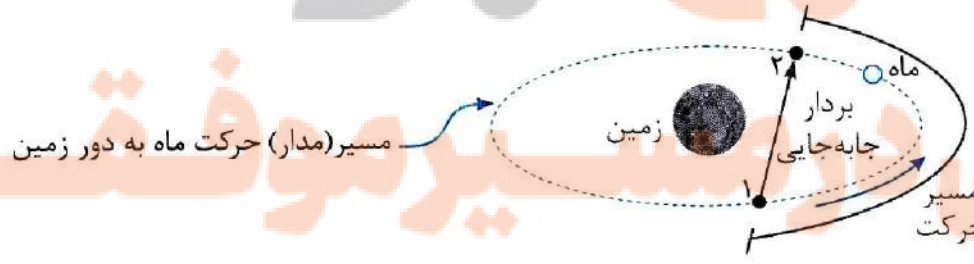
(ب)



اندازهٔ بردار جابه‌جایی کمتر از مسافت طی شده است زیرا شخص تغییر جهت داشته است و در همان مسیر برگشته است.

۳ شکل پ مسیر حرکت ماه به دور زمین را نشان می‌دهد. وقتی ماه در جهت نشان‌داده‌شده در شکل، از مکان ۱ به مکان ۲ می‌رود مسیر حرکت و بردار جابه‌جایی آن را روی شکل مشخص و اندازهٔ بردار جابه‌جایی آن را با مسافت پیموده‌شده مقایسه کنید.

(پ)



اندازهٔ بردار جابه‌جایی کمتر از مسافت طی شده است زیرا حرکت ماه به دور زمین روی خط راست انجام نمی‌شود و جهت حرکت آن در هر نقطه از مسیر تغییر می‌کند.

تدریس موفقیت

@physicsjeihoodi

پرسش(۱-۲) ..... صفحهٔ ۴ کتاب درسی

در چه صورت اندازهٔ سرعت متوسط یک متحرک با تندی متوسط آن برابر است؟ برای پاسخ خود می‌توانید به شکل‌های پرسش ۱-۱ نیز توجه کنید. اگر اندازهٔ سرعت متوسط و تندی متوسط یک متحرک با هم برابر باشد، داریم:

$$|\vec{v}_{av}| = s_{av} \Rightarrow \frac{|\vec{d}|}{\Delta t} = \frac{l}{\Delta t} \Rightarrow |\vec{d}| = s$$

بنابراین اندازهٔ بردار جابه‌جایی با مسافت طی‌شده باید با هم برابر باشد. یعنی متحرک باید روی مسیر مستقیم و بدون تغییر جهت حرکت کند.

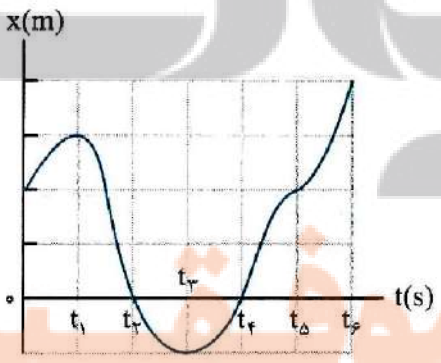
تمرین(۱-۱) ..... صفحهٔ ۵ کتاب درسی

جدول زیر را کامل کنید. فرض کنید هر چهار متحرک در مدت زمان ۴/۰s فاصلهٔ بین مکان آغازین و مکان پایانی را طی می‌کنند.

	مکان آغازین $(\vec{x}_1 i)$	مکان پایانی $(\vec{x}_2 i)$	بردار جابه‌جایی $(\Delta \vec{x} i = (x_2 - x_1)\vec{i})$	سرعت متوسط $(\vec{v}_{av} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} i)$	جهت حرکت
متحرک A	$(-2/0\,m)\vec{i}$	$(6/4\,m)\vec{i}$	$(6/4-(-2))\vec{i} = (8/4\,m)\vec{i}$	$\frac{8/4}{4} = (2/1\,\frac{m}{s})\vec{i}$	در جهت محور x
متحرک B	$((-2/5)-(-5/6))\vec{i} = (3/1\,m)\vec{i}$	$(-2/5\,m)\vec{i}$	$(-5/6\,m)\vec{i}$	$\frac{-5/6}{4} = (-1/4\,\frac{m}{s})\vec{i}$	در خلاف جهت محور x
متحرک C	$(2/0\,m)\vec{i}$	$(8/6\,m)\vec{i}$	$(8/6-2)\vec{i} = (6/6\,m)\vec{i}$	$\frac{6/6}{4} = (1/65\,\frac{m}{s})\vec{i}$	در جهت محور x
متحرک D	$(-1/4\,m)\vec{i}$	$(9/6+(-1/4))\vec{i} = (8/2\,m)\vec{i}$	$(2/4)(4)\vec{i} = (9/6\,m)\vec{i}$	$(2/4\,m/s)\vec{i}$	در جهت محور x

پرسش(۱-۳) ..... صفحهٔ ۸ کتاب درسی

با توجه به نمودار مکان-زمان شکل روبه‌رو به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:



الف) متحرک چند بار از مبدأ مکان عبور می‌کند؟ دو بار (در لحظه‌های t_2 و t_4)

ب) در کدام بازه‌های زمانی متحرک در حال دور شدن از مبدأ است؟

در بازه‌های زمانی ۰ تا t_1، t_2 تا t_3 و t_4 تا t_6 اندازهٔ x (مکان متحرک) رو به افزایش است بنابراین در این بازه‌ها، متحرک در حال دور شدن از مبدأ است.

پ) در کدام بازه‌های زمانی متحرک در حال نزدیک شدن به مبدأ است؟

در بازه‌های زمانی t_1 تا t_2 و t_3 تا t_4 اندازهٔ x (مکان متحرک) رو به کاهش است بنابراین در این بازه‌ها، متحرک در حال نزدیک شدن به مبدأ است.

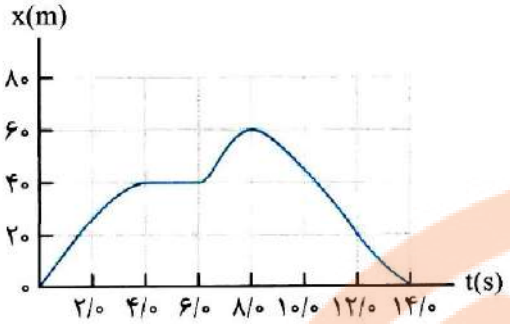
ت) جهت حرکت چند بار تغییر کرده است؟ در چه لحظه‌هایی؟ دو بار در لحظه‌های t_1 و t_3

ث) جابه‌جایی کل در جهت محور x است یا خلاف آن؟ جابه‌جایی کل در جهت محور x است زیرا $\Delta x_T = x_6 - x_0 > 0$ است.

@physicsjeibodi

تمرین(۱-۲)

صفحهٔ ۹ کتاب درسی



شکل روبه‌رو نمودار مکان-زمان دوچرخه‌سواری را نشان می‌دهد که روی مسیری مستقیم در حال حرکت است.

الف) در کدام لحظه دوچرخه‌سوار بیشترین فاصله از مبدأ را دارد؟

در لحظهٔ $t = ۸s$

ب) در کدام بازه‌های زمانی دوچرخه‌سوار در جهت محور x حرکت می‌کند؟

در بازه‌های زمانی ۰s تا ۴s و ۶s تا ۸s

پ) در کدام بازهٔ زمانی دوچرخه‌سوار در خلاف جهت محور x حرکت می‌کند؟ در بازهٔ زمانی ۸s تا ۱۴s

ت) در کدام بازهٔ زمانی، دوچرخه‌سوار ساکن است؟ در بازهٔ زمانی ۴s تا ۶s

ث) تندی متوسط و سرعت متوسط دوچرخه‌سوار را در هر یک از بازه‌های زمانی ۰/۰s تا ۲/۰s، ۴/۰s تا ۶/۰s، ۲/۰s تا ۵/۰s، ۸/۰s تا ۱۴/۰s، ۰/۰s تا ۱۴/۰s حساب کنید.

نکته

برای محاسبهٔ مسافت طی‌شده در کل مسیر باید طول هر بخش از مسیر را به صورت جداگانه محاسبه کنیم.

بازهٔ زمانی ۰/۰s تا ۲/۰s:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۲۵ - ۰}{۲ - ۰} = ۱۲/۵ \frac{m}{s} \qquad s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{|۲۵ - ۰|}{۲ - ۰} = ۱۲/۵ \frac{m}{s}$$

بازهٔ زمانی ۴/۰s تا ۶/۰s:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۴۰ - ۴۰}{۶ - ۴} = ۰ \frac{m}{s} \qquad s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{|۴۰ - ۴۰|}{۶ - ۴} = ۰ \frac{m}{s}$$

بازهٔ زمانی ۲/۰s تا ۵/۰s:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۴۰ - ۲۵}{۵ - ۲} = ۵ \frac{m}{s} \qquad s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{|۴۰ - ۲۵| + |۴۰ - ۴۰|}{۵ - ۲} = ۵ \frac{m}{s}$$

بازهٔ زمانی ۸/۰s تا ۱۴/۰s:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۰ - ۶۰}{۱۴ - ۸} = -۱۰ \frac{m}{s} \qquad s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{|۰ - ۶۰|}{۱۴ - ۸} = \frac{۶۰}{۶} = ۱۰ \frac{m}{s}$$

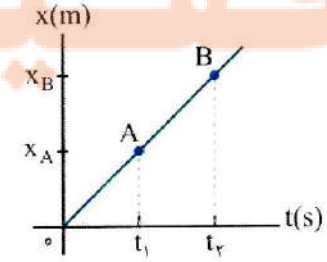
بازهٔ زمانی ۰/۰s تا ۱۴/۰s:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۰}{۱۴} = ۰ \frac{m}{s} \qquad s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{|۴۰ - ۰| + |۴۰ - ۴۰| + |۶۰ - ۴۰| + |۰ - ۶۰|}{۱۴} = ۸/۵۷ \frac{m}{s}$$

پرسش(۱-۴)

صفحهٔ ۹ کتاب درسی

از روی نمودار مکان-زمان توضیح دهید در چه صورت سرعت لحظه‌ای متحرک همواره با سرعت متوسط آن برابر است.

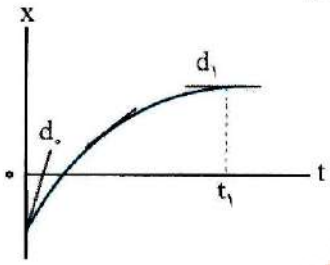


هرگاه نمودار مکان-زمان به صورت یک خط راست باشد، شیب نمودار همواره ثابت است؛ بنابراین همواره سرعت لحظه‌ای متحرک با سرعت متوسط آن برابر است. برای مثال نمودار مکان-زمان زیر را در نظر بگیرید. شیب خط مماس بر این نمودار در تمام نقاط بین A و B با شیب خط عبوری از نقاط A و B (v_{av}) برابر است.

@physicsjeffbod

پرسش(۱-۵) ..... صفحهٔ ۱۰ کتاب درسی

شکل روبه‌رو نمودار مکان-زمان متحرکی را نشان می‌دهد که در امتداد محور x در حرکت است.



الف) از لحظهٔ صفر تا لحظهٔ t_1 سرعت متحرک رو به افزایش است یا کاهش؟

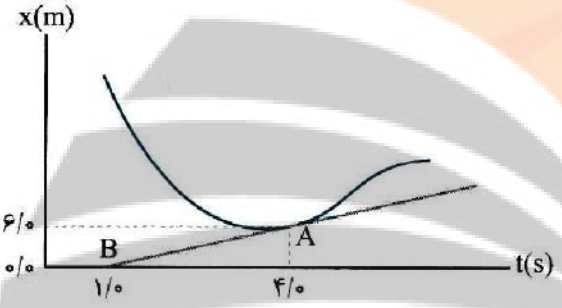
اگر در زمان‌های بین دو لحظهٔ $t=0$ و $t=t_1$، بر نمودار مکان-زمان متحرک مماس‌هایی رسم کنیم، می‌بینیم که با افزایش زمان، شیب خط مماس کمتر می‌شود؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت سرعت متحرک در حال کاهش است.

ب) اگر در لحظهٔ t_1 خط مماس بر منحنی موازی محور زمان باشد، سرعت متحرک در این لحظه چقدر است؟

با توجه به اینکه شیب خط موازی با محور زمان برابر صفر است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت سرعت متحرک در لحظهٔ $t=t_1$ برابر با صفر است.

تمرین(۱-۳) ..... صفحهٔ ۱۰ کتاب درسی

شکل روبه‌رو نمودار مکان-زمان متحرکی را نشان می‌دهد. خط مماس بر منحنی در لحظهٔ $t=4/0\,s$، رسم شده است. سرعت متحرک را در این لحظه پیدا کنید.



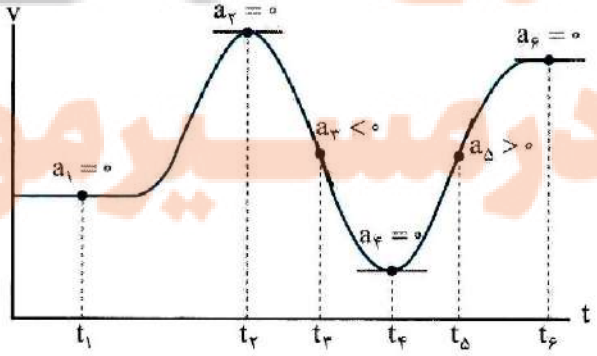
شیب خط مماس بر نمودار مکان-زمان نشان‌دهندهٔ سرعت لحظه‌ای است.

$$v=\frac{x_A-x_B}{t_A-t_B}=\frac{۶-۰}{۴-۱}=۲\frac{m}{s}$$

پرسش(۱-۶) ..... صفحهٔ ۱۲ کتاب درسی

شکل زیر نمودار سرعت-زمان دوچرخه‌سواری را نشان می‌دهد که در امتداد محور x در حرکت است. جهت شتاب دوچرخه‌سوار را در هر یک از لحظه‌های t_1، t_2، ... و t_6 تعیین کنید.

شیب خط مماس بر نمودار سرعت-زمان در هر لحظه، نشانگر شتاب لحظه‌ای است. در لحظه‌های t_1، t_2، t_4 و t_6، شیب خط مماس بر نمودار $v-t$، برابر با صفر و در نتیجه شتاب لحظه‌ای نیز برابر با صفر است. در لحظهٔ t_3، شیب خط مماس بر نمودار $v-t$، منفی است؛ در نتیجه شتاب لحظه‌ای منفی و در جهت منفی محور x است. در لحظهٔ t_5، شیب خط مماس بر نمودار $v-t$، مثبت است در نتیجه شتاب لحظه‌ای مثبت و در جهت مثبت محور x است.



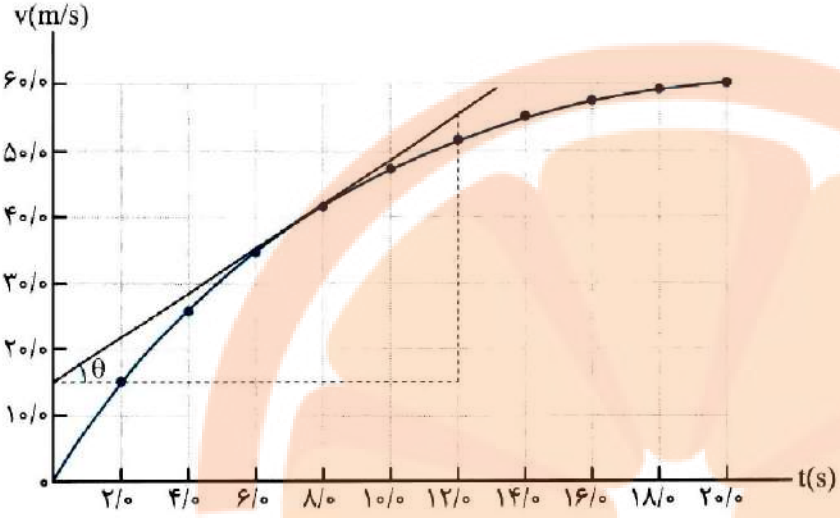
تلاشی در مسیر موفقیت

@physicsjeans

تمرین(۱-۴) ..... صفحهٔ ۱۲ کتاب درسی

نمودار سرعت-زمان خودرویی که در راستای محور x حرکت می‌کند در بازهٔ زمانی ۰/۰s تا ۲۰/۰s مطابق شکل روبه‌رو است.

الف) شتاب متوسط خودرو در این بازهٔ زمانی چقدر است؟



$$a_{av}=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{۶۰-۰}{۲۰-۰}=۳\frac{m}{s^۲}$$

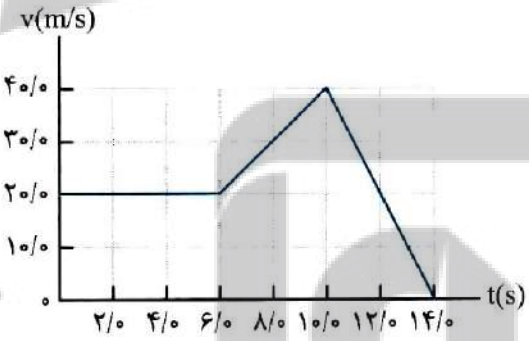
ب) شتاب خودرو را در لحظهٔ $t=۸/۰s$ به دست آورید.

در لحظهٔ $t=۸s$، خط مماس بر نمودار $v-t$ را رسم و شیب آن را محاسبه می‌کنیم.

$$a=\tan\theta=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{۵۵-۱۵}{۱۲-۰}=\frac{۱۰}{۳}\frac{m}{s^۲}$$

تمرین(۱-۵) ..... صفحهٔ ۱۳ کتاب درسی

نمودار سرعت-زمان خودرویی که در راستای محور x حرکت می‌کند در بازهٔ زمانی صفر تا ۱۴/۰s مطابق شکل روبه‌رو است.



الف) شتاب متوسط خودرو در این بازهٔ زمانی چقدر است؟

$$a_{av}=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{۰-۲۰}{۱۴-۰}=-۱/۴۲\frac{m}{s^۲}$$

ب) شتاب خودرو را در هر یک از لحظه‌های $t=۲/۰s$، $t=۸/۰s$ و $t=۱۱/۰s$ به دست آورید.

شتاب در لحظهٔ $t=۲s$ برابر با صفر است، زیرا شیب خط مماس بر نمودار $v-t$ در این لحظه صفر است. $a_۲=۰\frac{m}{s^۲}$

شتاب در لحظهٔ $t=۸s$ برابر با شتاب متوسط در بازهٔ زمانی ۶s تا ۱۰s است، زیرا شیب نمودار سرعت-زمان در این بازه ثابت است.

$$a=a_{av}=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{۴۰-۲۰}{۱۰-۶}=۵\frac{m}{s^۲}$$

شتاب در لحظهٔ $t=۱۱s$ برابر با شتاب متوسط در بازهٔ زمانی ۱۰s تا ۱۴s است، زیرا شیب نمودار سرعت-زمان در این بازهٔ زمانی ثابت است.

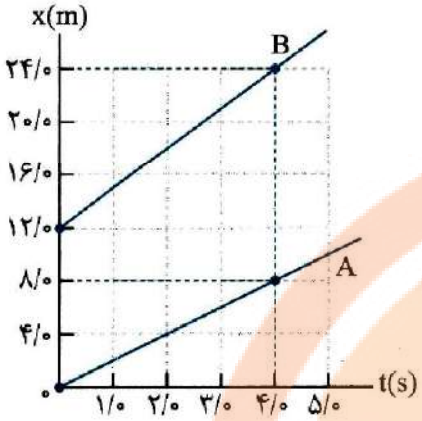
$$a=a_{av}=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{۰-۴۰}{۱۴-۱۰}=-۱۰\frac{m}{s^۲}$$

تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjeffbook

تمرین (۱-۶) ..... صفحهٔ ۱۴ کتاب درسی

شکل مقابل نمودار مکان-زمان دو متحرک A و B را نشان می‌دهد که در راستای محور x حرکت می‌کنند. سرعت هر متحرک را پیدا کنید و معادلهٔ مکان-زمان آنها را بنویسید.



شیب نمودار مکان-زمان متحرک‌های A و B ثابت است، بنابراین حرکت هر دو متحرک از نوع حرکت با سرعت ثابت است و سرعت لحظه‌ای هر متحرک با سرعت متوسط آن در هر بازهٔ زمانی برابر است.

با توجه به داده‌های نمودار و قرار دادن داده‌های یک نقطهٔ دلخواه در معادلهٔ مکان-زمان می‌توانیم سرعت حرکت هر کدام را به دست آوریم:

برای متحرک A داریم: $x_0 = 0m \ , \ x = 8m \ , \ t = 4s$

$$x = vt + x_0 \Rightarrow 8 = v(4) + 0 \Rightarrow v = 2\frac{m}{s} \Rightarrow \text{معادلهٔ مکان-زمان: } x = 2t$$

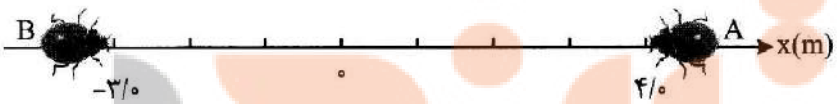
برای متحرک B داریم: $x_0 = 12m \ , \ x = 24m \ , \ t = 4s$

$$x = vt + x_0 \Rightarrow 24 = v(4) + 12 \Rightarrow v = 3\frac{m}{s} \Rightarrow \text{معادلهٔ مکان-زمان: } x = 3t + 12$$

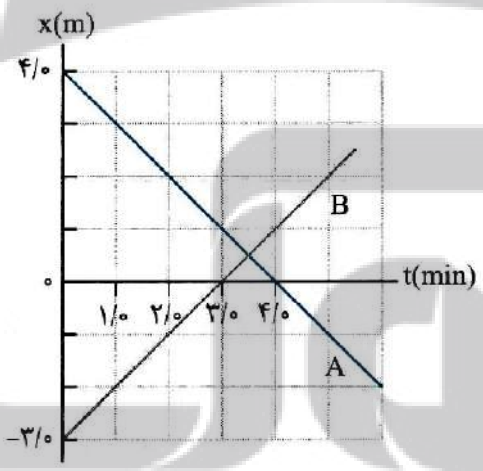
تمرین (۱-۷) ..... صفحهٔ ۱۴ و ۱۵ کتاب درسی

شکل الف، مکان دو کفش‌دوزک A و B را که در راستای محور x حرکت می‌کنند در لحظهٔ $t = 0s$ نشان می‌دهد. نمودار مکان-زمان این کفش‌دوزک‌ها در شکل ب رسم شده است.

الف) از روی نمودار به طور تقریبی تعیین کنید کفش‌دوزک‌ها در چه لحظه و در چه مکانی به یکدیگر می‌رسند.



(الف)



(ب)

با توجه به نمودار، کفش‌دوزک‌ها به طور تقریبی در $t \simeq 3/5 min$ و $x \simeq 0/5m$ به یکدیگر می‌رسند.

ب) با استفاده از معادلهٔ مکان - زمان، زمان و مکان هم‌رسی کفش‌دوزک‌ها را پیدا کنید.

ابتدا معادلهٔ مکان- زمان هر دو کفش‌دوزک را با استفاده از مختصات تقاطع نمودار با محور زمان به دست می‌آوریم.

کفش‌دوزک A: $x_0 = 4m \ , \ x = 0m \ , \ t = 4min$

$$x = vt + x_0 \Rightarrow 0 = v(4) + 4 \Rightarrow v = -1\frac{m}{min} \Rightarrow x_A = -t + 4$$

کفش‌دوزک B: $x_0 = -3m \ , \ x = 0m \ , \ t = 3min$

$$x = vt + x_0 \Rightarrow 0 = v(3) - 3 \Rightarrow v = 1\frac{m}{min} \Rightarrow x_B = t - 3$$

@physicsjeffood

هنگامی که دو متحرک به هم می‌رسند $x_A = x_B$ خواهد بود به عبارت دیگر دو متحرک هم‌مکان می‌شوند بنابراین داریم:

$$x_A = x_B \Rightarrow -t+۴ = t-۳ \Rightarrow ۲t = ۷ \Rightarrow t = ۳/۵\,\text{min}$$

اکنون زمان به‌دست‌آمده را در یکی از معادلات مکان- زمان قرار می‌دهیم.

$$x_B = t-۳ \xrightarrow{t=۳/۵\,\text{min}} x_B = (۳/۵)-۳ = ۰/۵\,\text{m} \quad \text{یا} \quad x_A = -t+۴ \xrightarrow{t=۳/۵\,\text{min}} x_A = -۳/۵+۴ = ۰/۵\,\text{m}$$

تمرین (۱-۸) صفحهٔ ۱۶ کتاب درسی

معادلهٔ سرعت-زمان متحرکی که در امتداد محور x حرکت می‌کند در SI به صورت $v = -۱/۸t + ۲/۲$ است.

الف) سرعت متحرک در لحظهٔ $t = ۴/۰\,s$ چقدر است؟

با جایگذاری $t = ۴s$ در معادلهٔ سرعت-زمان می‌توانیم سرعت متحرک را در آن لحظه به دست آوریم:

$$v = -۱/۸t + ۲/۲ \xrightarrow{t=۴} v = -۱/۸(۴) + ۲/۲ = -۵\frac{m}{s}$$

ب) سرعت متوسط متحرک و جابه‌جایی آن در بازهٔ زمانی صفر تا $t = ۴/۰\,s$ چقدر است؟

متحرک با شتاب ثابت حرکت نموده است زیرا معادله سرعت - زمان آن از معادلهٔ $v = at + v_۰$ پیروی می‌کند. با توجه به معادلهٔ سرعت-زمان می‌توان شتاب و سرعت اولیهٔ متحرک را محاسبه کرد:

$$\left.\begin{matrix} v = at + v_۰ \\ v = -۱/۸t + ۲/۲ \end{matrix}\right\} \Rightarrow a = -۱/۸\frac{m}{s^۲},\ v_۰ = ۲/۲\frac{m}{s}$$

برای محاسبهٔ سرعت متوسط در حرکت با شتاب ثابت داریم:

$$v_{av} = \frac{v_۰ + v}{۲} \xrightarrow{v_۰=۲/۲\frac{m}{s},\ v=-۵\frac{m}{s}} v_{av} = \frac{۲/۲-۵}{۲} = -۱/۴\frac{m}{s}$$

جابه‌جایی متحرک تا لحظه $t = ۴/۰\,s$ برابر است با:

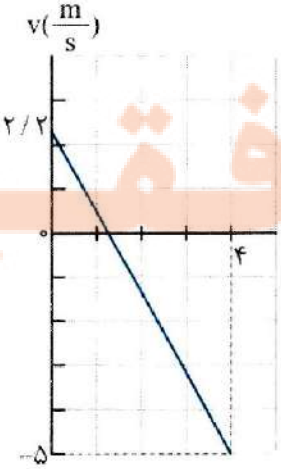
$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow -۱/۴ = \frac{\Delta x}{۴} \Rightarrow \Delta x = -۵/۶\,\text{m}$$

پ) نمودار سرعت-زمان این متحرک را رسم کنید.

برای رسم نمودار سرعت-زمان کافی است سرعت متحرک را در دو زمان مختلف داشته باشیم.

$$t = ۰\,s \Rightarrow v_۰ = ۲/۲\frac{m}{s}$$

$$t = ۴\,s \Rightarrow v = -۵\frac{m}{s}$$

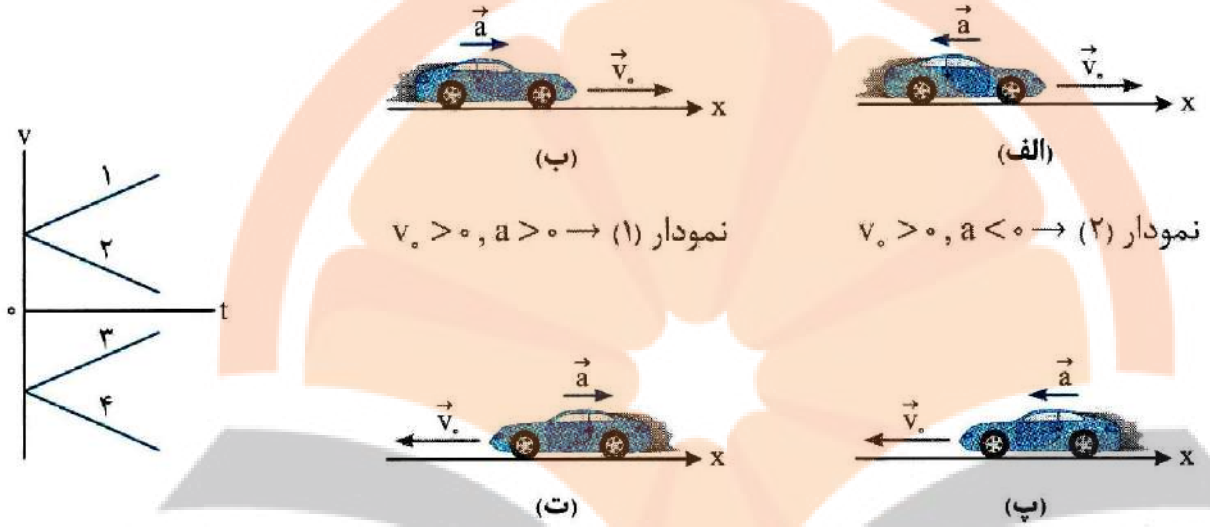


تلاشی درمسیرموفقیت

@physicsjeffbook

فعالیت(۱-۲) ..... صفحهٔ ۱۶ کتاب درسی

در تمامی حالت‌های شکل زیر، خودروها در امتداد محور x و با شتاب ثابت در حرکت‌اند. حرکت هر یک از خودروها، توسط کدام‌یک از نمودارهای v − t توصیف می‌شود؟ همچنین توضیح دهید تندی کدام خودرو در حال افزایش (حرکت تندشونده) و تندی کدام خودرو در حال کاهش (حرکت کُندشونده) است.



نمودار (۲) ← $v_0 > 0 , a < 0$ نمودار (۱) ← $v_0 > 0 , a > 0$

نمودار (۴) ← $v_0 < 0 , a < 0$ نمودار (۳) ← $v_0 < 0 , a > 0$

هرگاه شتاب و سرعت هم‌علامت (هم‌جهت) باشند حرکت تندشونده ($av > 0$) و هرگاه مختلف‌العلامه (در خلاف جهت هم) باشند حرکت کندشونده است ($av < 0$)؛ بنابراین حرکت خودرو در شکل‌های (ب) و (پ) تندشونده و در شکل‌های (الف) و (ت) کندشونده است.

تمرین(۱-۹) ..... صفحهٔ ۱۸ کتاب درسی

خودرویی با سرعت ۱۸/۰km/h در امتداد مسیری مستقیم از چهارراهی می‌گذرد تندی آن با شتاب ۱/۰m/s² افزایش می‌یابد. سرعت خودرو پس از ۳۰۰m جابه‌جایی چقدر است؟

$$v_0 = 18\frac{km}{h} \xrightarrow{\div 3/6} 5\frac{m}{s} , a = 1\frac{m}{s^2} , \Delta x = 300m , v = ?$$

با استفاده از داده‌های مسئله و معادلهٔ مکان-زمان در حرکت با شتاب ثابت، زمان لازم برای جابه‌جایی ۳۰۰ متر را محاسبه می‌کنیم.

$$\Delta x = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t \Rightarrow 300 = \frac{1}{2}(1)t^2 + 5t \Rightarrow t^2 + 10t - 600 = 0 \Rightarrow (t+30)(t-20) = 0$$

$$\Rightarrow \begin{cases} t = -30s \text{ (غیرقابل قبول)} \\ t = 20s \text{ (قابل قبول)} \end{cases}$$

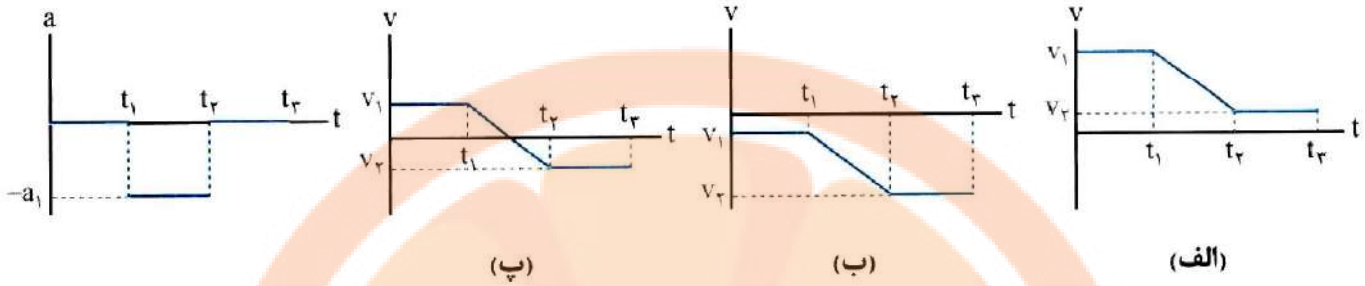
اکنون با استفاده از معادلهٔ سرعت- زمان داریم:

$$v = at + v_0 \xrightarrow{t=20s} v = 1(20) + 5 = 25\frac{m}{s}$$

@physicsjeffbook

پرسش (۱-۷) ..... صفحهٔ ۲۱ کتاب درسی

نمودار شتاب-زمان متحرکی که در امتداد محور x حرکت می‌کند مطابق شکل زیر است. توضیح دهید چگونه هریک از نمودارهای سرعت-زمان شکل‌های الف، ب و پ می‌تواند متناظر با این نمودار شتاب-زمان باشد.



همان‌طور که از نمودار شتاب-زمان پیداست، در بازهٔ زمانی t_1 تا t_2 ثانیه شتاب حرکت منفی است؛ بنابراین سرعت متحرک در این بازهٔ زمانی کاهش می‌یابد. میزان کاهش سرعت با استفاده از رابطهٔ $a_{av}=\frac{\Delta v}{\Delta t}$ به دست می‌آید. بنابراین:

$$v_2 - v_1 = -a_1(t_2 - t_1) \Rightarrow v_2 = v_1 - a_1(t_2 - t_1)$$

۱- اگر سرعت اولیهٔ متحرک (v_1) منفی باشد، در بازهٔ زمانی t_1 تا t_2 از سرعت آن کاسته شده و در انتهای این بازهٔ زمانی همچنان سرعت متحرک (v_2) منفی باقی خواهد ماند. (نمودار ب)

۲- اگر سرعت اولیهٔ متحرک (v_1) مثبت و اندازهٔ آن از $a_1(t_2 - t_1)$ کوچک‌تر باشد، در پایان بازهٔ زمانی سرعت آن (v_2) منفی خواهد بود. (نمودار پ) $(v_2 < 0 \Rightarrow v_1 - a(t_2 - t_1) < 0 \Rightarrow v_1 < a_1(t_2 - t_1))$

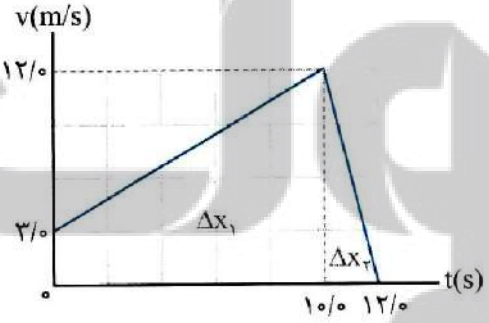
۳- اگر سرعت اولیهٔ متحرک (v_1) مثبت و اندازهٔ آن از $a_1(t_2 - t_1)$ بزرگ‌تر باشد، در پایان این بازهٔ زمانی، علی‌رغم کاهش سرعت، سرعت آن (v_2) همچنان مثبت خواهد بود و متحرک در جهت محور xها حرکت خواهد کرد. (نمودار الف)

$$(v_2 > 0 \Rightarrow v_1 - a_1(t_2 - t_1) > 0 \Rightarrow v_1 > a_1(t_2 - t_1))$$

تمرین (۱-۱۰) ..... صفحهٔ ۲۱ کتاب درسی

آهویی در مسیری مستقیم در امتداد محور x می‌دود. نمودار سرعت- زمان آهو در بازهٔ زمانی صفر تا ۱۲/۰s مطابق شکل است. در این بازهٔ زمانی

الف) مسافت کل پیموده‌شده توسط آهو را به دست آورید.



با توجه به اینکه آهو در مسیر مستقیم بدون تغییر جهت در حال حرکت است مسافت کل پیموده شده با جابه‌جایی متحرک برابر است.

روش اول: می‌دانیم سطح زیر نمودار مکان-زمان با جابه‌جایی متحرک برابر است.

$$d = \Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2 = S_{\text{ذوزنقه}} + S_{\text{مثلث}} = (\frac{3+12}{2} \times 10) + (\frac{1}{2} \times 2 \times 12) = 75 + 12 = 87\,m$$

روش دوم: با استفاده از رابطهٔ $\Delta x = v_{av}\Delta t$ می‌توان جابه‌جایی و در نتیجه مسافت پیموده شده را محاسبه نمود.

$$\left.\begin{aligned} \Delta x_1 = v_{av}\Delta t \Rightarrow \Delta x_1 = (\frac{v_1 + v_0}{2})\Delta t = (\frac{12+3}{2})(10) = 75\,m \\ \Delta x_2 = v_{av}\Delta t \Rightarrow \Delta x_2 = (\frac{v_2 + v_1}{2})\Delta t = (\frac{0+12}{2})(2) = 12\,m \end{aligned}\right\} \Rightarrow \Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2 = 75 + 12 = 87\,m$$

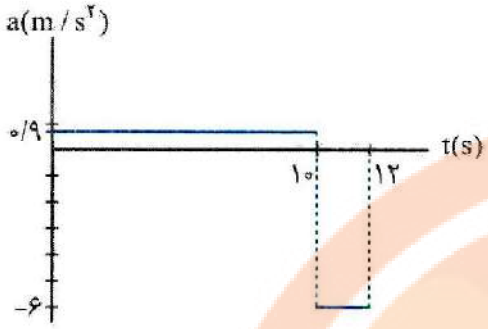
تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjeffbod

ب) جابه‌جایی آهو را پیدا کنید.

در مسیر مستقیم به شرطی که متحرک تغییر جهت ندهد جابه‌جایی با مسافت طی‌شده برابر است؛ بنابراین $\Delta x = ۸۷m$.

پ) نمودار شتاب-زمان آهو را رسم کنید.



ابتدا شتاب مربوط به هر مرحله را به دست می‌آوریم.

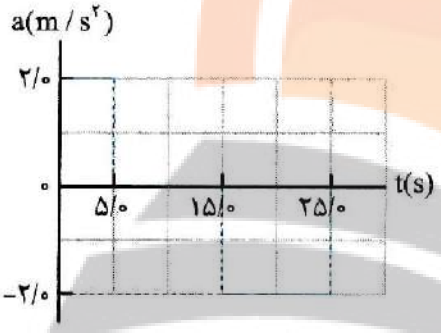
بازهٔ زمانی صفر تا ۱۰s: $a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_۱ - v_۰}{t_۱ - t_۰} = \frac{۱۲ - ۳}{۱۰ - ۰} = ۰/۹ \frac{m}{s^۲}$

بازهٔ زمانی ۱۰s تا ۱۲s: $a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_۲ - v_۱}{t_۲ - t_۱} = \frac{۰ - ۱۲}{۱۲ - ۱۰} = -۶ \frac{m}{s^۲}$

تمرین (۱-۱۱) — صفحهٔ ۲۱ کتاب درسی

شکل مقابل نمودار شتاب-زمان یک ماشین اسباب‌بازی را نشان می‌دهد که در امتداد محور x حرکت می‌کند. با فرض $x_۰ = ۰$ و $v_۰ = ۰$ در بازهٔ زمانی صفر تا ۲۵/۰s،

الف) نمودارهای سرعت-زمان و مکان-زمان این ماشین را رسم کنید.



در بازهٔ ۰s تا ۵s داریم: $a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow ۲ = \frac{\Delta v}{۵ - ۰} \Rightarrow \Delta v = ۱۰ \frac{m}{s}$

(سرعت در لحظهٔ $t = ۵s$) $\Delta v = v_۵ - v_۰ \Rightarrow ۱۰ = v_۵ - ۰ \Rightarrow v_۵ = ۱۰ \frac{m}{s}$

در بازهٔ زمانی ۵s تا ۱۵s داریم: $a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow -۲ = \frac{\Delta v}{۲۵ - ۱۵} \Rightarrow \Delta v = -۲۰ \frac{m}{s}$

(سرعت در لحظهٔ $t = ۲۵s$) $\Delta v = v_{۲۵} - v_{۱۵} \Rightarrow -۲۰ = v_{۲۵} - ۱۰ \Rightarrow v_{۲۵} = -۱۰ \frac{m}{s}$

در تمام بازه‌ها چون شتاب حرکت ثابت است، نمودار سرعت-زمان به صورت یک خط راست است. برای رسم نمودار مکان-زمان به این صورت عمل می‌کنیم:

در بازهٔ ۰s تا ۵s حرکت با شتاب ثابت انجام می‌شود؛ بنابراین با توجه به اطلاعات داده‌شده و استفاده از معادلهٔ مکان-زمان برای حرکت با شتاب ثابت داریم:

$$x = \frac{۱}{۲} a t^۲ + v_۰ t + x_۰ \xrightarrow[a = ۲ \frac{m}{s^۲}]{v_۰ = ۰ \frac{m}{s},\ x_۰ = ۰m} x = t^۲ \xrightarrow{t = ۵s} x = ۵^۲ = ۲۵m$$

بنابراین معادلهٔ مکان-زمان متحرک در بازهٔ زمانی ۰s تا ۵s به صورت $x = t^۲$ و مکان متحرک در لحظهٔ $t = ۵s$ برابر با ۲۵ متر است.

در بازهٔ ۵s تا ۱۵s حرکت با سرعت ثابت انجام می‌شود؛ بنابراین:

$$x = v \Delta t + x_۰ \xrightarrow{x_۰ = ۲۵m,\ v = ۱۰ \frac{m}{s}} x = ۱۰ \Delta t + ۲۵ \xrightarrow{\Delta t = ۱۵ - ۵ = ۱۰s} x = ۱۲۵m$$

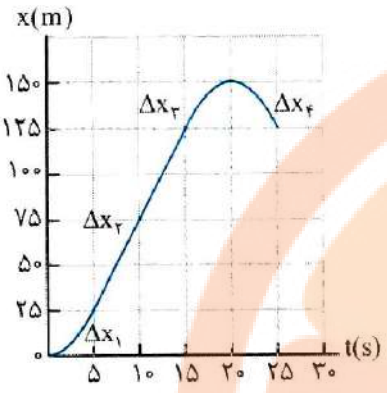
بنابراین نمودار مکان-زمان در بازهٔ زمانی ۵s تا ۱۵s به صورت خطی صاف خواهد بود و مکان متحرک در لحظهٔ $t = ۱۵s$ برابر ۱۲۵ است.

تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjoodi

در بازهٔ زمانی ۱۵s تا ۲۵s حرکت با شتاب ثابت انجام می‌شود. بنابراین با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده داریم:

$$x = \frac{1}{2}a(\Delta t)^2 + v_0(\Delta t) + x_0 \xrightarrow[a=-2\frac{m}{s^2}]{x_0=125m\ ,\ v_0=10\frac{m}{s}} x = -(\Delta t)^2 + 10\Delta t + 125$$



مکان در لحظهٔ ۲۰s : $\xrightarrow{\Delta t=20-15=5s} x = -(5)^2 + 10(5) + 125 = 150m$

مکان در لحظهٔ ۲۵s : $\xrightarrow{\Delta t=25-15=10s} x = -(10)^2 + 10(10) + 125 = 125m$

هنگام رسم نمودار به این نکته توجه کنید که سرعت متحرک در لحظه‌های $t = 0s$ و $t = 20s$ برابر با صفر است؛ بنابراین خط مماس بر نمودار در این نقاط باید موازی با محور افقی باشد. علاوه بر این شیب خط مماس در لحظه‌های $t = 5s$، $t = 15s$ و تمام بازهٔ زمانی 5s تا 15s باید یکسان باشد؛ بنابراین نمودار به صورت روبه‌رو خواهد بود.

ب) با توجه به نمودار سرعت-زمان، مشخص کنید در کدام‌یک از بازه‌های زمانی، حرکت ماشین تندشونده، کُندشونده یا با سرعت ثابت است.

در بازهٔ زمانی صفر تا 5s : تندی در حال افزایش، در نتیجه حرکت تندشونده است.

در بازهٔ زمانی 5s تا 15s : حرکت با سرعت ثابت است.

در بازهٔ زمانی 15s تا 20s : تندی در حال کاهش و در نتیجه حرکت کندشونده است.

در بازهٔ زمانی 20s تا 25s : تندی در حال افزایش و در نتیجه حرکت تندشونده است.

پ) شتاب متوسط ماشین را پیدا کنید.

با توجه به نمودار سرعت-زمان داریم:

$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-10-0}{25-0} = -0/4\frac{m}{s^2}$$

ت) جابه‌جایی ماشین را پیدا کنید.

$$\Delta x_T = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \Delta x_4 = +25 + 100 + 25 - 25 = 125m$$

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل (۱)

صفحهٔ ۲۲ تا ۲۶ کتاب درسی

۱ با توجه به داده‌های نقشهٔ شکل زیر،

الف) تندی متوسط و اندازهٔ سرعت متوسط خودرو را پیدا کنید.

$$t = 80min = 4/8\times10^3 s$$

$$s_{av} = \frac{l}{\Delta t} \Rightarrow s_{av} = \frac{88\times10^3}{4/8\times10^3} = 18/3\frac{m}{s}$$

$$v_{av} = \frac{d}{\Delta t} = \frac{60\times10^3}{4/8\times10^3} = 12/5\frac{m}{s}$$ به سمت شمال غرب

ب) مفهوم فیزیکی این دو کمیت چه تفاوتی با یکدیگر دارد؟

تندی متوسط مشخص می‌کند که متحرکی به طور متوسط در هر ثانیه چه مسافتی را پیموده است اما سرعت متوسط مشخص می‌کند متحرک در هر ثانیه چند متر از مبدأ حرکت دور شده است.

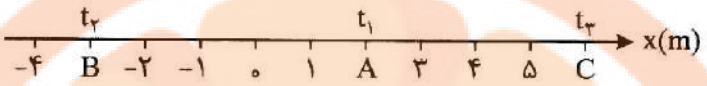
تلاشی در مسیر موفقیت

@physicsjeihoodi

پ) در چه صورت تندی متوسط و اندازهٔ سرعت متوسط می‌توانست تقریبا با یکدیگر برابر باشد؟

اگر مسیر حرکت خودرو روی خط واصل بین دو شهر باشد و خودرو بدون تغییر جهت فاصلهٔ مستقیم بین دو شهر را طی کند، اندازهٔ مسافت طی‌شده و جابه‌جایی تقریباً با هم برابر و در نتیجه تندی متوسط و اندازهٔ سرعت متوسط تقریباً با هم برابر خواهد شد.

۲) متحرکی مطابق شکل در لحظهٔ t_1 در نقطهٔ A، در لحظهٔ t_2 در نقطهٔ B و در لحظهٔ t_3 در نقطهٔ C قرار دارد.



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

برای رسم بردار مکان در هر لحظه کافی است برداری را از مبدأ محور به مکان جسم در هر لحظه وصل کنیم.

$\vec{d}_1 = ۲\vec{i}$ $\quad \vec{d}_2 = -۳\vec{i}$ $\quad \vec{d}_3 = ۶\vec{i}$

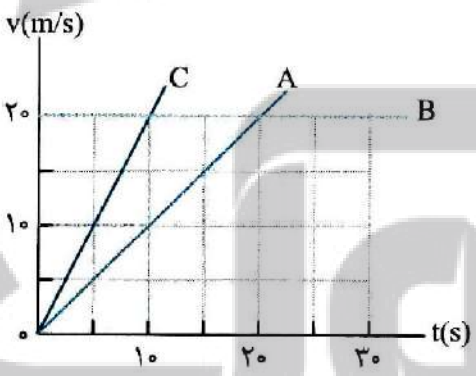
ب) بردار جابه‌جایی متحرک را در هر یک از بازه‌های زمانی t_1 تا t_2، t_2 تا t_3 و t_1 تا t_3 به دست آورید.

بازهٔ زمانی t_1 تا t_2: $\vec{d} = \vec{d}_2 - \vec{d}_1 = (-۳-۲)\vec{i} = -۵\vec{i}$

بازهٔ زمانی t_2 تا t_3: $\vec{d} = \vec{d}_3 - \vec{d}_2 = (۶-(-۳))\vec{i} = ۹\vec{i}$

بازهٔ زمانی t_1 تا t_3: $\vec{d} = \vec{d}_3 - \vec{d}_1 = (۶-۲)\vec{i} = ۴\vec{i}$

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.

$a_C > a_A > a_B$ است، زیرا شیب خط مماس بر نمودار سرعت-زمان متحرک C بیشتر از شیب خط مماس بر نمودار سرعت-زمان متحرک A است و شیب خط مماس بر نمودار A بیشتر از شیب خط مماس بر نمودار B است.

ب) شتاب هر متحرک را به دست آورید.

شیب نمودار سرعت-زمان برای هر سه متحرک مقداری ثابت است؛ بنابراین شتاب لحظه‌ای هر کدام از متحرک‌ها با شتاب متوسط در هر بازهٔ زمانی دلخواه که روی نمودار رسم شده برابر است؛ بنابراین:

$$a = a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

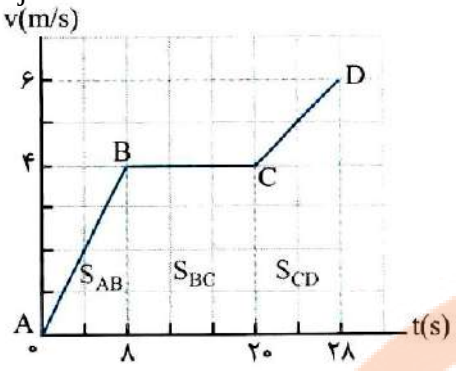
$$a_A = a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۲۰-۰}{۲۰-۰} = ۱\frac{m}{s^2} \qquad a_B = a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = ۰\frac{m}{s^2} \qquad a_C = a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۲۰-۰}{۱۰-۰} = ۲\frac{m}{s^2}$$

پ) در بازهٔ زمانی ۰s تا ۱۰s جابه‌جایی این سه متحرک را پیدا کنید. مساحت سطح زیر نمودار $v-t$ برابر با جابه‌جایی متحرک است؛ بنابراین برای هر یک از متحرک‌های A، B و C داریم:

$$\Delta x_A = \frac{۱}{۲}(۱۰\times۱۰) = ۵۰m \qquad \Delta x_B = ۲۰\times۱۰ = ۲۰۰m \qquad \Delta x_C = \frac{۱}{۲}(۲۰\times۱۰) = ۱۰۰m$$

@physicsjeffbodi

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؟

با توجه به اینکه شیب خط نمودار سرعت-زمان در مرحلهٔ AB ثابت است، شتاب متحرک در هر نقطه از بازهٔ زمانی A تا B برابر با شتاب متوسط در این بازه است. به همین طریق برای مرحله‌های BC و CD نیز شرایط مشابهی داریم. در نتیجه:

در مرحلهٔ AB: $a = a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۴-۰}{۸-۰} = \frac{۱}{۲}\frac{m}{s^۲}$

شتاب مرحلهٔ BC برابر با صفر است زیرا سرعت ثابت است.

در مرحلهٔ CD: $a = a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۶-۴}{۲۸-۲۰} = \frac{۱}{۴}\frac{m}{s^۲}$

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

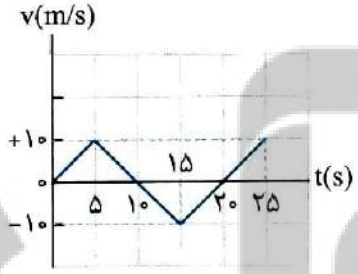
$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۶-۰}{۲۸-۰} = \frac{۳}{۱۴}\frac{m}{s^۲}$

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

می‌دانیم مساحت زیر نمودار سرعت-زمان برابر با جابه‌جایی متحرک است، بنابراین داریم:

$\Delta x_T = S_{AB} + S_{BC} + S_{CD} = (\frac{۱}{۲}\times۴\times۸) + (۴\times۱۲) + (\frac{۴+۶}{۲}\times۸) = ۱۶ + ۴۸ + ۴۰ = ۱۰۴m$

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



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

ابتدا شتاب هر مرحله را محاسبه می‌کنیم. دقت کنید که در هر یک از بازه‌های زمانیِ زیر شتاب ثابت و برابر با شتاب متوسط است.

بازهٔ زمانی ۰s تا ۵s:

$a = a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۱۰-(۰)}{۵} = \frac{۱۰}{۵} = ۲\frac{m}{s^۲}$

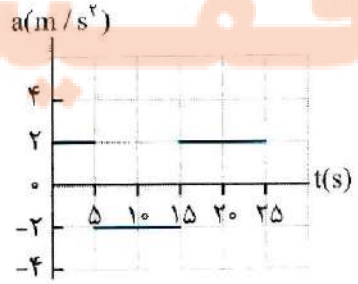
بازهٔ زمانی ۵s تا ۱۵s:

$a = a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-۱۰-۱۰}{۱۵-۵} = \frac{-۲۰}{۱۰} = -۲\frac{m}{s^۲}$

بازهٔ زمانی ۱۵s تا ۲۵s:

$a = a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۱۰-(-۱۰)}{۲۵-۱۵} = \frac{۲۰}{۱۰} = ۲\frac{m}{s^۲}$

اکنون می‌توانیم نمودار شتاب-زمان متحرک را رسم کنیم.



تلاشی درمسیرموفقیت

@physicsjeffbod

ب) اگر $x_0 = -10m$ باشد نمودار مکان-زمان متحرک را رسم کنید.

برای رسم نمودار مکان-زمان، از معادلهٔ مکان-زمان حرکت با شتاب ثابت ($x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0$) استفاده می‌کنیم.

دقت داشته باشید که معادلهٔ $x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0$، معادلهٔ مکان-زمان متحرکی است که با شتاب ثابت در امتداد محور x حرکت می‌کند و در $t = 0$ در مکان x_0 و دارای سرعت v_0 است. اگر سرعت و مکان متحرک در $t = t_0$ به ترتیب برابر با v'_0 و x'_0 باشد، معادلهٔ مکان-زمان متحرک به صورت $x = \frac{1}{2}a(\Delta t)^2 + v'_0\Delta t + x'_0$ خواهد بود که در این معادله Δt برابر $t - t_0$ است.

برای بازهٔ زمانی ۰ تا ۵s داریم: $x_0 = -10m \ , \ v_0 = 0\frac{m}{s} \ , \ a = 2\frac{m}{s}$

$$x = \frac{1}{2} \times 2t^2 + 0 \times t - 10 \xrightarrow{t=5s} x = 5^2 - 10 = 15m$$

متحرک در $t = 5s$ در $x = 15m$ قرار می‌گیرد. دقت کنید که $x = 15m$ به عنوان x_0 در مرحلهٔ ۵s تا ۱۰s محسوب می‌شود.

در بازهٔ زمانی ۵s تا ۱۰s داریم: $x_0 = 15m \ , v_0 = 10\frac{m}{s} , a = -2\frac{m}{s^2}$

$$x = \frac{1}{2} \times (-2)(\Delta t)^2 + 10\Delta t + 15 \xrightarrow{\Delta t=5s} x = \frac{1}{2}(-2)(5)^2 + 10(5) + 15 = 40m$$

در بازهٔ زمانی ۱۰s تا ۱۵s داریم: $x_0 = 40m \ , v_0 = 0\frac{m}{s} , a = -2\frac{m}{s^2}$

$$x = \frac{1}{2} \times (-2)(\Delta t)^2 + 0 + 40 \xrightarrow{\Delta t=5s} x = \frac{1}{2}(-2)(5)^2 + 40 = 15m$$

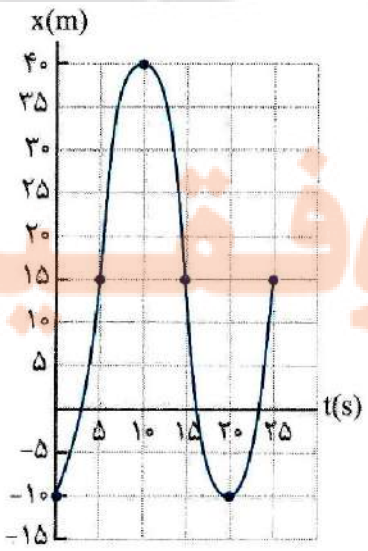
در بازهٔ زمانی ۱۵s تا ۲۰s داریم: $x_0 = 15m \ , v_0 = -10\frac{m}{s} , a = 2\frac{m}{s^2}$

$$x = \frac{1}{2} \times 2 \times (\Delta t)^2 - 10\Delta t + 15 \xrightarrow{\Delta t=5s} x = \frac{1}{2}(2)(5)^2 + (-10)(5) + 15 = -10m$$

در بازهٔ زمانی ۲۰s تا ۲۵s داریم: $x_0 = -10m \ , v_0 = 0\frac{m}{s} , a = 2\frac{m}{s^2}$

$$x = \frac{1}{2} \times 2 \times (\Delta t)^2 + 0 - 10 \xrightarrow{\Delta t=5s} x = \frac{1}{2}(2)(5)^2 - 10 = 15m$$

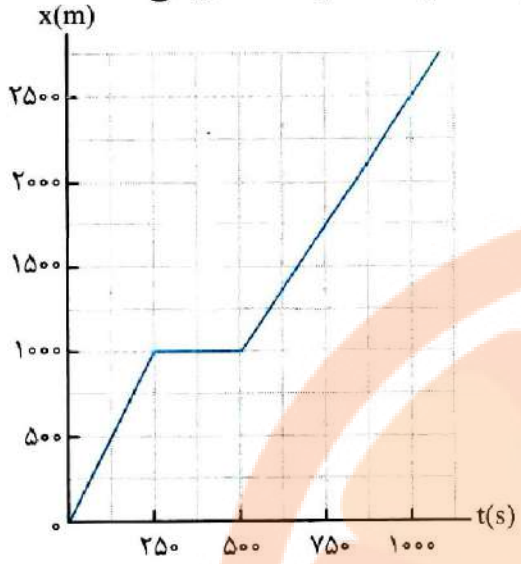
هنگام رسم نمودار مکان-زمان دقت کنید که مماس بر نمودار در لحظه‌هایی که سرعت متحرک صفر است، یعنی زمان‌های ۰s ، ۱۰s و ۲۰s باید موازی با محور زمان باشد (شیب خط مماس بر نمودار صفر باشد).



تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjeihoodi

۶ **شکل زیر نمودار مکان-زمان حرکت یک دوندهٔ دوی نیمه‌استقامت را در امتداد یک خط راست نشان می‌دهد.**



الف) در کدام بازهٔ زمانی دونده سریع‌تر دویده است؟ در بازهٔ زمانی ۰ تا ۲۵۰s سرعت دونده بیشتر است، زیرا شیب نمودار $x-t$ در این بازه بیشتر است.

ب) در کدام بازهٔ زمانی، دونده ایستاده است؟ در بازهٔ زمانی ۲۵۰s تا ۵۰۰s دونده ایستاده است زیرا مقدار x ثابت است.

پ) سرعت دونده را در بازهٔ زمانی ۰s تا ۲۵۰s حساب کنید.

در این بازه نمودار به صورت خط راست است بنابراین سرعت دونده ثابت و برابر با سرعت متوسط در این بازه است.

$$v = v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۱۰۰۰ - ۰}{۲۵۰ - ۰} = ۴\frac{m}{s}$$

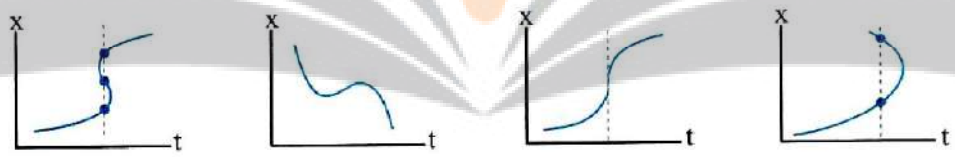
ت) سرعت دونده را در بازهٔ زمانی ۵۰۰s تا ۱۰۰۰s حساب کنید.

$$v = v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۲۵۰۰ - ۱۰۰۰}{۱۰۰۰ - ۵۰۰} = ۳\frac{m}{s}$$

ث) سرعت متوسط دونده را در بازهٔ زمانی ۰s تا ۱۰۰۰s حساب کنید.

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۲۵۰۰ - ۰}{۱۰۰۰ - ۰} = ۲/۵\frac{m}{s}$$

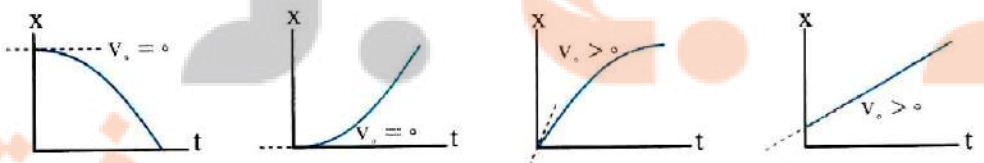
۷ **توضیح دهید کدام‌یک از نمودارهای مکان-زمان شکل زیر می‌تواند نشان‌دهندهٔ نمودار $x-t$ یک متحرک باشد.**



(الف) ✗ (ب) ✗ (پ) ✓ (ت) ✗

مکان یک متحرک در یک زمان مشخص، منحصربه‌فرد است، یعنی متحرک نمی‌تواند در یک زمان در دو مکان مختلف باشد. برای تشخیص این موضوع کافی است خطی موازی با محور مکان رسم کنیم. اگر نمودار را در بیش از یک نقطه قطع کند، نمودار نمی‌تواند مربوط به یک متحرک باشد.

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

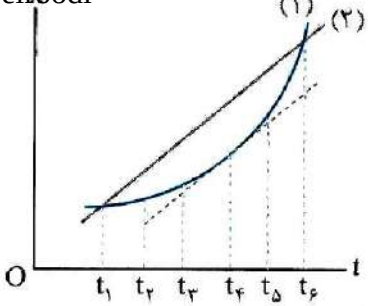


(ت) (پ) (ب) (الف)

شیب خط مماس بر نمودار $x-t$ در $t = 0$ نشانگر سرعت اولیهٔ متحرک (v_0) است. شکل‌های (پ) و (ت) مربوط به متحرکی است که از حال سکون شروع به حرکت کرده است، زیرا مماس بر نمودار موازی با محور زمان و شیب آن برابر صفر است. علاوه بر این همان‌گونه که مشاهده می‌شود اندازهٔ شیب خط مماس بر نمودار $x-t$ که نشان‌دهندهٔ تندی حرکت متحرک است، در نمودارهای (پ) و (ت) در حال افزایش است.

تلاشی در مسیر موفقیت

@physicsjeibodi



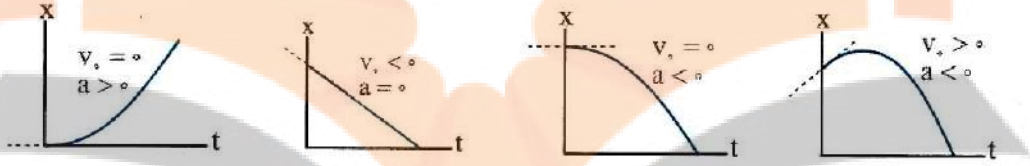
۹) شکل زیر نمودار مکان-زمان دو خودرو را نشان می‌دهد که در جهت محور x در حرکت‌اند.

الف) در چه لحظه‌هایی دو خودرو از کنار یکدیگر می‌گذرند؟ در لحظات $t_۱$ و $t_۶$ دو متحرک از کنار هم عبور می‌کنند زیرا هم‌مکان هستند.

ب) در چه لحظه‌ای تندی دو خودرو تقریباً یکسان است؟ شیب خط مماس بر نمودار (۱) در لحظهٔ $t_۴$ برابر با شیب نمودار (۲) است؛ بنابراین تندی دو خودرو در این لحظه تقریباً یکسان است.

پ) سرعت متوسط دو خودرو را در بازهٔ زمانی $t_۱$ تا $t_۶$ با هم مقایسه کنید. در بازهٔ $t_۱$ تا $t_۶$، جابه‌جایی (Δx) و مدت زمان جابه‌جایی (Δt) برای هر دو خودرو یکسان و در نتیجه سرعت متوسط آنها برابر است.

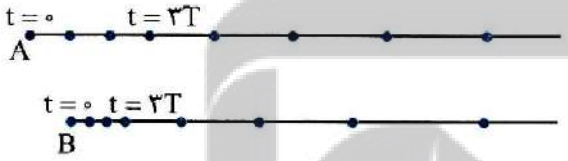
۱۰) توضیح دهید کدام‌یک از نمودارهای مکان-زمان نشان داده‌شده، حرکت متحرکی را توصیف می‌کند که سرعت اولیهٔ آن در جهت محور x و شتاب آن برخلاف جهت محور x است.



(ت) ✗ (پ) ✓ (ب) ✗ (الف) ✗

در نمودار الف، شیب خط مماس بر نمودار در لحظهٔ $t = ۰$ مثبت است یعنی سرعت اولیه در جهت مثبت محور x است $(v_۰ > ۰)$. با توجه به اینکه تقعر نمودار روبه پایین است، شتاب در خلاف جهت محور xهاست $(a < ۰)$.

۱۱) هر یک از شکل‌های زیر مکان یک خودرو را در لحظه‌های $t = ۰$، $t = T$، $t = ۲T$، ... و $t = ۷T$ نشان می‌دهد. هر دو خودرو در لحظهٔ $t = ۳T$ شتاب می‌گیرند. توضیح دهید،



الف) سرعت اولیهٔ کدام خودرو بیشتر است.

هر دو خودرو تا زمان $t = ۳T$ با سرعت ثابت حرکت کرده‌اند؛ بنابراین سرعت لحظه‌ای هر کدام از آنها در بازهٔ زمانی ۰ تا $۳T$ برابر با سرعت متوسط آنها در این بازه است. با توجه به اینکه جابه‌جایی خودروی A در این بازهٔ زمانی بیشتر از جابه‌جایی خودروی B است؛ بنابراین طبق رابطهٔ $v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$، سرعت متوسط و در نتیجه سرعت اولیهٔ آن بیشتر از سرعت اولیهٔ خودروی B است.

ب) سرعت نهایی کدام خودرو بیشتر است. با توجه به اینکه جابه‌جایی خودروی B در بازهٔ زمانی $۶T$ تا $۷T$ بیشتر از جابه‌جایی خودروی A در همین بازهٔ زمانی است؛ بنابراین سرعت متوسط خودروی B در این بازهٔ زمانی بیشتر از سرعت متوسط خودروی A است.

پ) کدام خودرو شتاب بیشتری دارد. با توجه به اینکه در زمان $t = ۳T$، سرعت خودروی B کمتر از سرعت خودروی A بوده اما در زمان $t = ۷T$ سرعت خودروی B بیشتر از سرعت خودروی A است؛ بنابراین افزایش سرعت (Δv) خودروی B در بازهٔ زمانی $۳T$ تا $۷T$ بیشتر از خودروی A بوده و طبق رابطهٔ $a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$، شتاب حرکت خودروی B بیشتر از شتاب حرکت خودروی A است.

تلاشی در مسیر موفقیت

@physicsjeffbodi

(۱۲) **معادلهٔ حرکت جسمی در SI به صورت $x = t^3 - 3t^2 + 4$ است.**

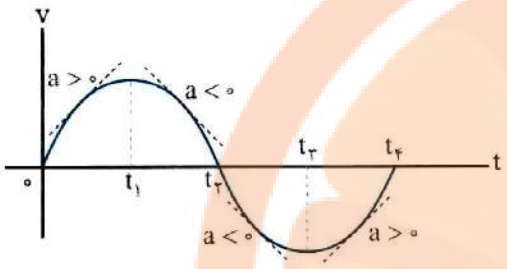
الف) مکان متحرک را در $t = 0s$ و $t = 2s$ به دست آورید.

$$t_1 = 0 \Rightarrow x_1 = 0^3 - 3(0)^2 + 4 = 4m \qquad t_2 = 2 \Rightarrow x_2 = 2^3 - 3(2)^2 + 4 = 0m$$

ب) سرعت متوسط جسم را در بازهٔ زمانی صفر تا ۲ ثانیه پیدا کنید.

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{0 - 4}{2 - 0} = -2\frac{m}{s}$$

(۱۳) **نمودار سرعت-زمان متحرکی در شکل زیر نشان داده‌شده است. تعیین کنید در کدام بازه‌های زمانی بردار شتاب در جهت محور x و در کدام بازه‌های زمانی در خلاف جهت محور x است.**



می‌دانیم شیب خط مماس بر نمودار سرعت-زمان در هر نقطه نشانگر شتاب حرکت متحرک در آن نقطه است. اگر شیب این خط مثبت باشد، شتاب نیز مثبت و جهت آن در جهت محور x است و اگر شیب این خط منفی باشد، شتاب نیز منفی و جهت آن در خلاف جهت محور x است؛ بنابراین جهت شتاب در بازه‌های مختلف به این ترتیب است:

۰ تا t_1 : در جهت محور x t_1 تا t_3 : در خلاف جهت محور x t_3 تا t_4 : در جهت محور x

(۱۴) **جسمی با سرعت ثابت بر مسیری مستقیم در حرکت است. اگر جسم در لحظهٔ $t_1 = 5/0s$ در مکان $x_1 = 6/0m$ و در لحظهٔ $t_2 = 20/0s$ در مکان $x_2 = 36/0m$ باشد،**

الف) معادلهٔ مکان-زمان جسم را بنویسید.

معادلهٔ مکان-زمان در حرکت با سرعت ثابت به صورت $x = vt + x_0$ است. برای نوشتن این معادله باید v و x_0 معلوم باشند، ابتدا سرعت متوسط حرکت بین دو لحظهٔ t_1 تا t_2 را محاسبه می‌کنیم:

$$v = v_{av} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{36 - 6}{20 - 5} = 2\frac{m}{s}$$

$$x = vt + x_0 = 2t + x_0$$

برای به دست آوردن x_0 می‌توان اطلاعات مربوط به یک لحظه را در معادلهٔ مکان-زمان قرار داد.

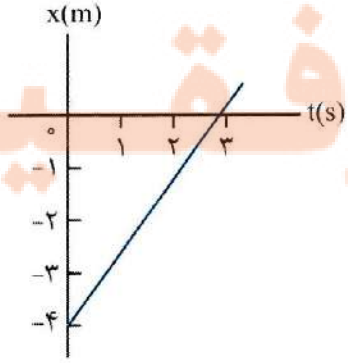
$$t_1 = 5s\ ,\ x_1 = 6m \Rightarrow 6 = (2 \times 5) + x_0 \Rightarrow x_0 = -4m$$

اکنون می‌توان معادلهٔ مکان-زمان را به صورت کامل نوشت: $x = vt + x_0 \Rightarrow x = 2t - 4$

ب) نمودار مکان-زمان جسم را رسم کنید.

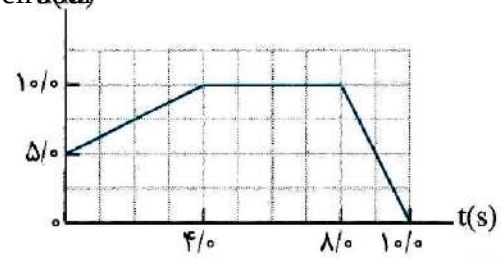
برای رسم نمودار مکان-زمان می‌توان مکان‌های متحرک در لحظات مختلف را به دست آورد. بنابراین با استفاده از معادلهٔ $x = 2t - 6$ داریم:

x	t
-4	0
0	3



@physicsjeffdad

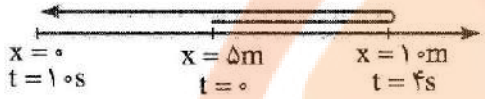
۱۵) شکل زیر نمودار مکان-زمان متحرکی را نشان می‌دهد که در امتداد محور x حرکت می‌کند.



الف) جابه‌جایی و مسافت پیموده‌شده توسط متحرک در کل زمان حرکت چقدر است؟

جابه‌جایی: $\Delta x = ۰ - ۵ = -۵m$

روش اول: برای پیدا کردن مسافت پیموده‌شده، مسیر حرکت متحرک را رسم می‌کنیم. می‌دانیم به مجموع طول‌های پیموده‌شده، مسافت پیموده‌شده (l) می‌گویند؛ بنابراین با توجه به شکل داریم:



مسافت پیموده‌شده: $l = ۵ + ۱۰ = ۱۵m$

روش دوم: حرکت متحرک را به بازه‌های زمانی‌ای که در آنها جهت حرکت متحرکی تغییر نکرده، تقسیم می‌کنیم. در این صورت مسافت پیموده‌شده در کل مسیر برابر است با مجموع اندازه‌های بردارهای جابه‌جایی در این بازه‌ها.

$$l = |\Delta x_۱| + |\Delta x_۲| + |\Delta x_۳| = |۱۰ - ۵| + |۱۰ - ۱۰| + |۰ - ۱۰| = ۵ + ۰ + ۱۰ = ۱۵m$$

ب) سرعت متوسط متحرک را در هر یک از بازه‌های زمانی ۰s تا ۴/۰s، ۴/۰s تا ۸/۰s، ۸/۰s تا ۱۰/۰s و همچنین در کل زمان حرکت به دست آورید.

بازهٔ زمانی ۰s تا ۴s:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۱۰ - ۵}{۴ - ۰} = \frac{۵}{۴} = ۱/۲۵ \frac{m}{s}$$

بازهٔ زمانی ۴s تا ۸s:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۱۰ - ۱۰}{۸ - ۴} = ۰ \frac{m}{s}$$

بازهٔ زمانی ۸s تا ۱۰s:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۰ - ۱۰}{۱۰ - ۸} = \frac{-۱۰}{۲} = -۵ \frac{m}{s}$$

سرعت متوسط در کل زمان حرکت:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۰ - ۵}{۱۰ - ۰} = -۰/۵ \frac{m}{s}$$

پ) معادلهٔ حرکت متحرک را در هر یک از بازه‌های زمانی ۰s تا ۴/۰s، ۴/۰s تا ۸/۰s و ۸/۰s تا ۱۰/۰s بنویسید.

با استفاده از معادلهٔ حرکت متحرک با سرعت ثابت ($x = vt + x_۰$) داریم:

در بازهٔ زمانی صفر تا ۴s:

$$x = vt + x_۰ \xrightarrow{x_۰ = ۵m \ , \ v = ۱/۲۵ \frac{m}{s}} x = ۱/۲۵t + ۵$$

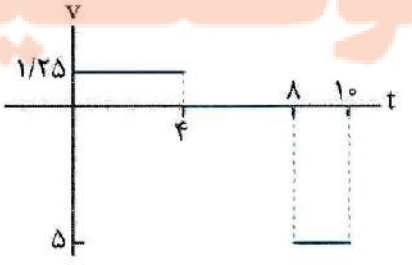
در بازهٔ زمانی ۴s تا ۸s:

$$x = vt + x_۰ \xrightarrow{x_۰ = ۱۰m \ , \ v_۰ = ۰ \frac{m}{s}} x = ۱۰$$

در بازهٔ زمانی ۸s تا ۱۰s:

$$x = vt + x_۰ \xrightarrow{x_۰ = ۱۰m \ , \ v = -۵ \frac{m}{s}} x = -۵(t - ۸) + ۱۰ = -۵t + ۵۰$$

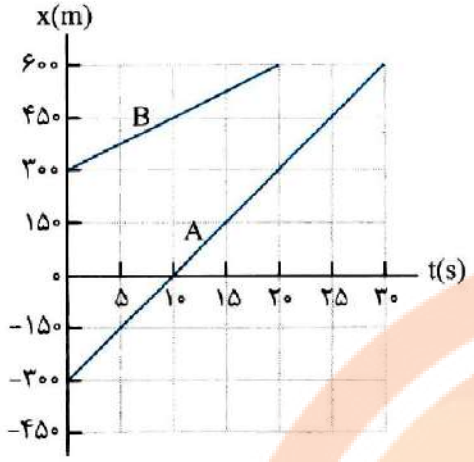
ت) نمودار سرعت-زمان متحرک را رسم کنید.



تلاش در مسیر موفقیت

@physicsjeffbod

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



الف) معادلهٔ حرکت هر یک از آنها را بنویسید. سرعت هر دو متحرک ثابت است بنابراین با توجه به معادلهٔ $x = vt + x_0$ ، برای متحرک A داریم:

$$v_A = v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۶۰۰-(-۳۰۰)}{۳۰-۰} = \frac{۹۰۰}{۳۰} = ۳۰\frac{m}{s}$$

$$x_A = v_A t + x_{0A} \xrightarrow{x_{0A}=-۳۰۰m\ ,\ v_A=۳۰\frac{m}{s}} x_A = ۳۰t - ۳۰۰$$

برای متحرک B داریم:

$$v_B = v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۶۰۰-۳۰۰}{۲۰-۰} = ۱۵\frac{m}{s}$$

$$x_B = v_B t + x_{0B} \xrightarrow{x_{0B}=۳۰۰m\ ,\ v_B=۱۵\frac{m}{s}} x_B = ۱۵t + ۳۰۰$$

ب) اگر خودروها با همین سرعت حرکت کنند، در چه زمان و مکانی به هم می‌رسند؟ وقتی دو متحرک به یکدیگر می‌رسند که مکان آنها یکسان باشد؛ بنابراین برای پیدا کردن زمان رسیدن دو خودرو به هم معادلهٔ مکان-زمان آنها را مساوی با هم قرار می‌دهیم:

$$x_A = x_B \Rightarrow ۳۰t - ۳۰۰ = ۱۵t + ۳۰۰ \Rightarrow ۱۵t = ۶۰۰ \Rightarrow t = ۴۰s$$

برای به دست آوردن مکانی که دو خودرو به هم می‌رسند کافی است زمان به‌دست‌آمده $(t = ۴۰s)$ را معادلهٔ مکان-زمان یکی از خودروها قرار دهیم:

$$x = ۳۰t - ۳۰۰ \xrightarrow{t=۴۰s} x = ۳۰(۴۰) - ۳۰۰ = ۹۰۰m$$

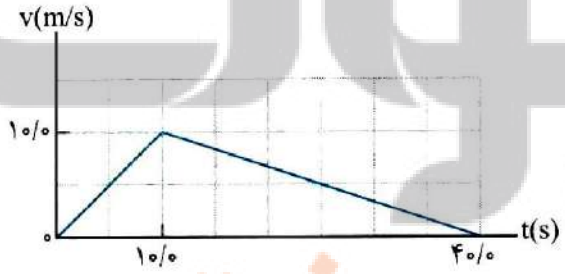
۱۷) دانستن محل قرارگیری یک ماهواره در مأموریت‌های فضایی و اطمینان از اینکه ماهواره در مدار پیش‌بینی‌شده قرار گرفته، یکی از مأموریت‌های کارشناسان فضایی است. بدین منظور تَپ‌های الکترومغناطیسی را که با سرعت نور در فضا حرکت می‌کنند، به طرف ماهوارهٔ مورد نظر می‌فرستند و بازتاب آن توسط ایستگاه زمینی دریافت می‌شود. اگر زمان رفت و برگشت یک تپ ۰/۲۴ ثانیه باشد، فاصلهٔ ماهواره از ایستگاه زمینی، تقریباً چقدر است؟ دقت کنید که ۰/۲۴s زمان رفت و برگشت یک تپ است.

برای رسیدن تپ به ماهواره به نصفِ زمان فوق نیاز داریم بنابراین می‌توان نوشت:

$$v_{نور} = ۳\times۱۰^۸\frac{m}{s}\ ,\ \Delta t_{رفت} = \frac{۱}{۲}\times ۰/۲۴ = ۰/۱۲s$$

$$\Delta x = v\Delta t = (۳\times۱۰^۸)(۰/۱۲) = ۳/۶\times۱۰^۷\,m$$

۱۸) نمودار $v-t$ متحرکی که در امتداد محور x حرکت می‌کند مطابق شکل زیر است. سرعت متوسط متحرک در بازهٔ زمانی ۰/۰s تا ۵/۰s چند برابر سرعت متوسط آن در بازهٔ زمانی ۲۵/۰s تا ۴۰/۰s است؟



با توجه به اینکه حرکت در دو بازهٔ ۰s تا ۱۰s و ۱۰s تا ۴۰s حرکت با شتاب ثابت است، برای به دست آوردن سرعت متوسط در هر دو مرحله می‌توان از رابطهٔ $v_{av} = \frac{v + v_0}{۲}$ استفاده کرد.

در بازهٔ زمانی ۰s تا ۵s :

$$v_{av} = \frac{v + v_0}{۲} = \frac{۵ + ۰}{۲} = ۲/۵\frac{m}{s}$$

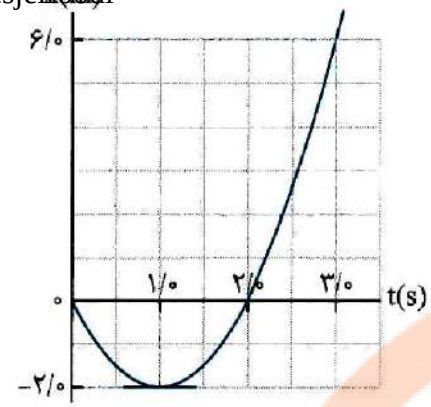
در بازهٔ زمانی ۲۵s تا ۴۰s :

$$v_{av} = \frac{v + v_0}{۲} = \frac{۰ + ۵}{۲} = ۲/۵\frac{m}{s}$$

بنابراین سرعت متوسط در هر دو بازهٔ زمانی با هم برابر است.

تلاشی در مسیر موفقیت

@physicsjeans



۱۹) شکل زیر نمودار مکان-زمان متحرکی را نشان می‌دهد که در امتداد محور x با شتاب ثابت در حرکت است.

الف) سرعت متوسط متحرک در بازهٔ زمانی صفر تا ۳/۰ ثانیه، چند متر بر ثانیه است؟

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۶ - ۰}{۳ - ۰} = ۲\frac{m}{s}$$

ب) معادلهٔ مکان-زمان متحرک را بنویسید.

برای به دست آوردن معادلهٔ مکان-زمان در حرکت با شتاب ثابت $(x = \frac{۱}{۲}at^۲ + v_۰t + x_۰)$ باید مقدار $x_۰$ ، a و $v_۰$ مشخص باشد. با توجه به نمودار، در لحظهٔ $t = ۰s$ متحرک در مبدأ است؛ بنابراین $x_۰ = ۰m$. برای پیدا کردن a و $v_۰$ کافی است داده‌های مربوط به دو نقطه از نمودار را در معادلهٔ مکان-زمان متحرک جایگذاری کنیم.

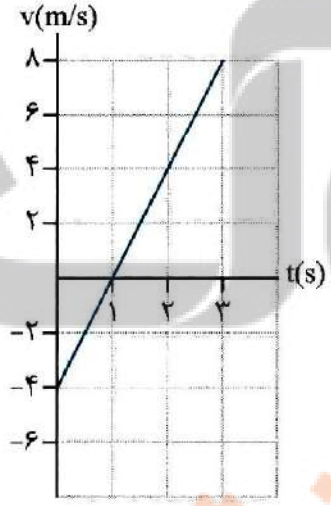
$$\left.\begin{array}{l} t = ۱s\ ,\ x = -۲m \Rightarrow -۲ = \frac{۱}{۲}a(۱)^۲ + v_۰(۱) + ۰ \xrightarrow{\times ۲} a + ۲v_۰ = -۴ \\ t = ۲s\ ,\ x = ۰m \Rightarrow ۰ = \frac{۱}{۲}a(۲)^۲ + v_۰(۲) + ۰ \longrightarrow ۲a + ۲v_۰ = ۰ \end{array}\right\} \Rightarrow a = ۴\frac{m}{s^۲}\ ,\ v_۰ = -۴\frac{m}{s}$$

$$\Rightarrow x = \frac{۱}{۲} \times ۴t^۲ - ۴t + ۰ \Rightarrow x = ۲t^۲ - ۴t$$

پ) سرعت متحرک را در لحظهٔ $t = ۳/۰s$ پیدا کنید.

$$v = at + v_۰ \xrightarrow{a = ۴\frac{m}{s^۲}\ ,\ v_۰ = -۴\frac{m}{s}} v = ۴t - ۴ \xrightarrow{t = ۳s} v = ۴(۳) - ۴ = ۸\frac{m}{s}$$

ت) نمودار سرعت-زمان متحرک را رسم کنید. برای رسم نمودار سرعت-زمان، کافی است داده‌های مربوط به دو زمان مختلف را داشته باشیم.



$$t = ۰s \Rightarrow v_۰ = -۴\frac{m}{s}$$

$$t = ۳s \Rightarrow v = ۸\frac{m}{s}$$

۲۰) متحرکی در امتداد محور x و با شتاب ثابت در حرکت است. در مکان $x = +۱۰m$ سرعت متحرک $+۴m/s$ و در مکان $x = +۱۹m$ سرعت متحرک $+۱۸km/h$ است.

الف) شتاب حرکت آن چقدر است؟

$$x_۱ = ۱۰m\ ,\ v_۱ = ۴\frac{m}{s}\ ,\ x_۲ = ۱۹m\ ,\ v_۲ = ۱۸\frac{km}{h} = ۵\frac{m}{s}$$

با استفاده از معادلهٔ سرعت-جابه‌جایی داریم:

$$v_۲^۲ - v_۱^۲ = ۲a(x_۲ - x_۱) \Rightarrow ۵^۲ - ۴^۲ = ۲a(۱۹ - ۱۰) \Rightarrow ۲۵ - ۱۶ = ۲a \times ۹ \Rightarrow a = ۰/۵\frac{m}{s^۲}$$

@physicsjeffbod

ب) پس از چه مدتی سرعت متحرک از $+۴m/s$ به سرعت $+۱۸km/h$ می‌رسد؟

$$v_۲ = at + v_۱ \Rightarrow ۵ = ۰/۵t + ۴ \Rightarrow t = ۲s$$

(۲۱) خودرویی پشت چراغ قرمز ایستاده است. با سبز شدن چراغ، خودرو با شتاب $۲m/s^۲$ شروع به حرکت می‌کند. در همین لحظه، کامیونی با سرعت ثابت $۳۶km/h$ از آن سبقت می‌گیرد.

الف) در چه لحظه و در چه مکانی خودرو به کامیون می‌رسد؟ حرکت خودرو شتاب‌دار و حرکت کامیون با سرعت ثابت است. ابتدا با در نظرگرفتن سرعت اولیهٔ صفر برای خودرو و انتخاب محل ایستادن خودرو به عنوان مبدأ مکان، معادلهٔ مکان-زمان هر دو متحرک را به دست آورده و مساوی با هم قرار می‌دهیم تا زمان رسیدن خودرو به کامیون به‌دست آید.

معادلهٔ مکان-زمان خودرو: $x_۱ = \frac{۱}{۲}at^۲ + v_۰t + x_۰ \xrightarrow[a=۲\frac{m}{s^۲}]{x_۰=۰m\ ,\ v_۰=۰\frac{m}{s}} x_۱ = \frac{۱}{۲}\times ۲t^۲ + ۰ + ۰ = t^۲$

سرعت حرکت کامیون: $v = ۳۶\frac{km}{h} = ۱۰\frac{m}{s}$

معادلهٔ مکان-زمان کامیون: $x_۲ = vt + x_۰ \xrightarrow{x_۰=۰m\ ,\ v_۰=۱۰\frac{m}{s}} x_۲ = ۱۰t$

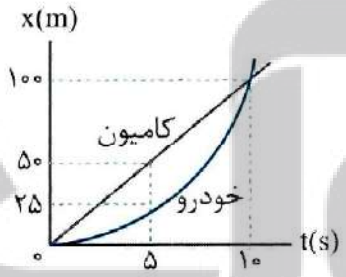
$$x_۱ = x_۲ \Rightarrow t^۲ = ۱۰t \Rightarrow t^۲ - ۱۰t = ۰ \Rightarrow t(t-۱۰) = ۰ \begin{cases} t = ۰s \Rightarrow \text{در پشت چراغ هم‌مکان بوده‌اند.} \\ t = ۱۰s \Rightarrow \text{پس از ۱۰ ثانیه خودرو به کامیون می‌رسد.} \end{cases}$$

برای به دست آوردن مکان رسیدن خودرو به کامیون، زمان به‌دست‌آمده را در معادلهٔ مکان-زمان خودرو یا کامیون قرار می‌دهیم:

$$x = ۱۰t \xrightarrow{t=۱۰s} x = ۱۰۰m$$

بنابراین بعد از طی مسافت ۱۰۰ متر، خودرو به کامیون می‌رسد.

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

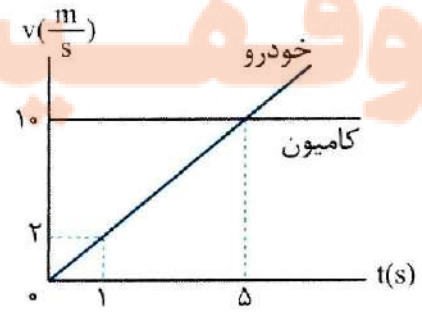


$t(s)$	۰	۵	۱۰
$x_۱ = t^۲(m)$	۰	۲۵	۱۰۰
$x_۲ = ۱۰t(m)$	۰	۵۰	۱۰۰

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

حرکت خودرو با شتاب ثابت انجام می‌شود؛ بنابراین معادلهٔ سرعت-زمان آن به صورت $v = at + v_۰$ است؛ بنابراین:

خودرو: $v_۱ = at + v_۰ \xrightarrow[a=۲\frac{m}{s^۲}]{v_۰=۰\frac{m}{s}} v = ۲t$

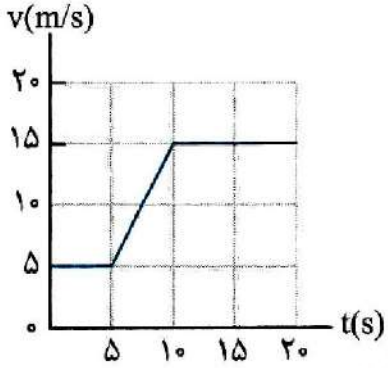


$t(s)$	۰	۱	۵
$v_۱(\frac{m}{s})$	۰	۲	۱۰
$v_۲(\frac{m}{s})$	۱۰	۱۰	۱۰

تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjeihoodi

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



الف) شتاب خودرو را در هر یک از لحظه‌های $t=۳s$ ، $t=۸s$ ، $t=۱۱s$ و $t=۱۵s$ به دست آورید.

در بازهٔ زمانی ۰s تا ۵s سرعت حرکت ثابت است بنابراین شتاب حرکت در این بازهٔ زمانی و در $t=۳s$ ، صفر است.

در بازهٔ زمانی ۵s تا ۱۰s شتاب حرکت ثابت و برابر با شتاب متوسط در این بازهٔ زمانی است؛ بنابراین برای محاسبهٔ شتاب در $t=۸s$ می‌توان نوشت:

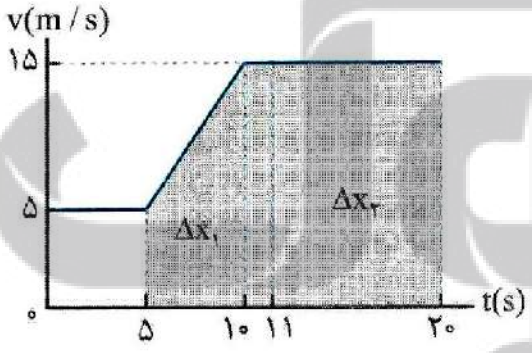
$$a = a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۱۵-۵}{۱۰-۵} = \frac{۱۰}{۵} = ۲\frac{m}{s^۲}$$

در بازهٔ زمانی ۱۰s تا ۲۰s سرعت حرکت ثابت و شتاب برابر با صفر است؛ بنابراین شتاب در لحظه‌های $t=۱۱s$ و $t=۱۵s$ برابر صفر است.

ب) شتاب متوسط در بازهٔ زمانی $t_۱=۰s$ تا $t_۲=۲۰s$ را به دست آورید.

$$a_{av} = \frac{v_۲ - v_۱}{t_۲ - t_۱} = \frac{۱۵-۵}{۲۰-۰} = \frac{۱۰}{۲۰} = \frac{۱}{۲}\frac{m}{s^۲}$$

پ) در هر یک از بازه‌های زمانی $t_۱=۵s$ تا $t_۲=۱۱s$ و $t_۲=۱۱s$ تا $t_۳=۲۰s$ خودرو چقدر جابه‌جا شده است؟



سطح زیر نمودار سرعت-زمان برابر با جابه‌جایی است بنابراین داریم:

بازهٔ زمانی ۵s تا ۱۱s:

$$\Delta x_۱ = S_{\text{ذوزنقه}} + S_{\text{مستطیل}} = (\frac{۵+۱۵}{۲}\times۵) + (۱\times۱۵) = ۵۰+۱۵ = ۶۵m$$

بازهٔ زمانی ۱۱s تا ۲۰s:

$$\Delta x_۲ = ۹\times۱۵ = ۱۳۵m$$

ت) سرعت متوسط خودرو در بازه‌های $t_۱=۵s$ تا $t_۲=۱۱s$ و $t_۳=۱۱s$ تا $t_۴=۲۰s$ را به دست آورید.

بازهٔ زمانی ۵s تا ۱۱s:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۶۵}{۱۱-۵} = \frac{۶۵}{۶} = ۱۰/۸\frac{m}{s}$$

بازهٔ زمانی ۱۱s تا ۲۰s:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۱۳۵}{۲۰-۱۱} = \frac{۱۳۵}{۹} = ۱۵\frac{m}{s}$$

تلاشی در مسیر موفقیت

@physicsjeffbodi

پرسش(۲-۱) ..... **صفحهٔ ۲۹ کتاب درسی**

در شکل روبه‌رو یک کشتی در حال حرکت را می‌بینید که نیروهای وارد بر آن متوازن‌اند. کدام نیروها اثر یکدیگر را خنثی کرده‌اند؟

نیروی شناوری و نیروی وزن همدیگر را و همچنین نیروی پیشران و نیروی مقاومت نیز همدیگر را خنثی کرده‌اند.

پرسش(۲-۲) ..... **صفحهٔ ۲۹ کتاب درسی**

در فیلمی علمی-تخیلی، موتور یک کشتی فضایی که در فضای تهی خارج از جو زمین و دور از هر سیاره و خورشید در حرکت است، از کار می‌افتد. در نتیجه حرکت کشتی فضایی کُند می‌شود و می‌ایستد. آیا امکان وقوع چنین رویدادی وجود دارد؟ توضیح دهید.

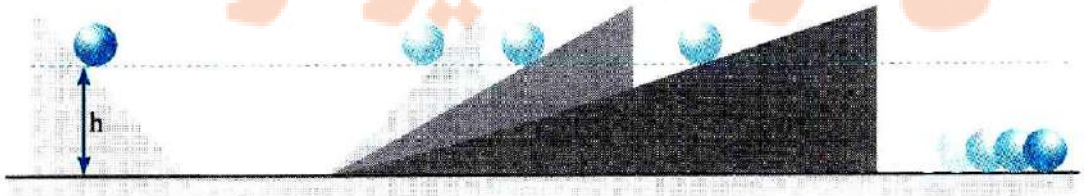
امکان وقوع چنین رویدادی وجود ندارد زیرا در فضای تهی و دور از هر جرم آسمانی نیروی خالصی بر کشتی وارد نمی‌شود و طبق قانون اول نیوتون وقتی نیروهای وارد بر جسمی متوازن باشند، سرعت جسم تغییری نمی‌کند. بنابراین با از کار افتادن موتور کشتی، کشتی باید با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه دهد.

فعالیت(۲-۱) ..... **صفحهٔ ۲۹ کتاب درسی**

دربارهٔ آزمایش ذهنی گالیله تحقیق کنید و به کلاس گزارش دهید.

گالیله با بیان اینکه «اگر در حرکت جسم تداخلی به وجود نیاید، جسم به حرکت خود در خط راست تا ابد ادامه می‌دهد» با ارسطو مخالفت کرد، گالیله فرضیهٔ خود را با حرکت اجسام روی سطح شیب‌دار، با زاویه‌های شیب مختلف آزمود. او طی آزمایش‌هایش با سطوح شیب‌دار مختلف متوجه شد اگر دو سطح شیب‌دار روبه‌روی هم قرار داشته باشند و از روی یکی از سطوح و در ارتفاع معینی از آن، گلوله‌ای را رها کند، گلوله روی سطح شیب‌دار دوم دقیقاً به همان ارتفاع بالا می‌رود و این نتیجه مستقل از زاویهٔ سطح شیب‌دار است. بر این اساس او آزمایشی ذهنی را ترتیب داد و فرض کرد زاویهٔ سطح شیب‌دار دوم برابر با صفر باشد و در این صورت با توجه به مشاهدات خود در مورد سطوح شیب‌دار مختلف نتیجه گرفت که حرکت گلوله روی سطح افقی باید تا ابد ادامه داشته باشد.

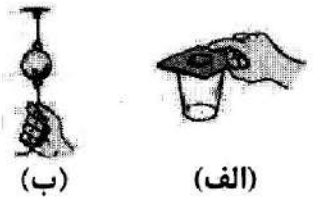
به بیان دیگر او متوجه شد سرعت گلوله هنگامی که روی سطح شیب‌دار به پایین می‌غلتد، افزایش و هنگام بالا رفتن از سطح شیب‌دار، کاهش می‌یابد و نتیجه گرفت سرعت گلوله‌ای که روی سطح افق می‌غلتد نه افزایش می‌یابد و نه کاهش.



@physicsjeihoodi

پرسش(۲-۳) ..... صفحهٔ ۳۰ کتاب درسی

الف) چرا حرکت سریع مقوا در شکل الف، سبب افتادن سکه در لیوان می‌شود؟


(ب) (الف)

وقتی سکه روی مقوا قرار دارد در راستای قائم به آن نیروی وزن و نیروی عمودی تکیه‌گاه وارد می‌شود که با توجه به ساکن بودن سکه متوازن هستند. هنگام ضربه زدن به مقوا و حرکت آن زیر سکه، در راستای افقی به سکه نیروی اصطکاک وارد می‌شود ولی با حرکت سریع مقوا، مقدار اثر این نیرو به حداقل می‌رسد. بنابراین چون تقریباً نیروی خالصی به سکه وارد نمی‌شود، سکه تمایل دارد حالت قبلی خود (سکون) را حفظ کند. بنابراین در راستای افقی حرکت نمی‌کند، اما چون مقوا از زیر آن کشیده شده، به دلیل حذف نیروی عمودی سطح و بر هم خوردن توازن نیروها در راستای عمودی، سکه به دلیل نیروی وزنی که به آن وارد می‌شود، به داخل لیوان می‌افتد.

ب) چرا در شکل ب، اگر به‌آرامی نیروی وارد بر گوی سنگین را زیاد کنیم نخ بالای گوی پاره می‌شود، اما اگر ناگهان نخ را بکشیم، نخ پایین آن پاره می‌شود؟

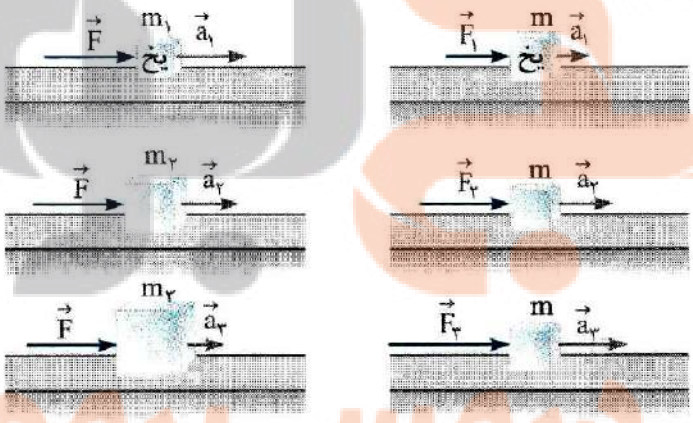
$T = F_p$

$T' = F_p + W$

هنگامی که نخ را به آرامی می‌کشیم، نیروی کشش نخ پایینی $(\vec{T})$ برابر با نیروی دست $(\vec{F_p})$ و نیروی کشش نخ بالایی $(\vec{T'})$ برابر با مجموع نیروی وزن گوی $(\vec{W})$ و نیروی کشش نخ پایینی (نیروی دست) است. بنابراین همواره نیروی کشش نخ بالایی از نیروی کشش نخ پایینی به اندازهٔ نیروی وزن گوی بیشتر خواهد بود. در نتیجه با افزایش نیروی دست، نخ بالایی زودتر پاره می‌شود. اما اگر ناگهان نخ را بکشیم، نیروی وارد بر نخ پایینی فرصت انتقال به نخ بالایی را نداشته و فقط نخ پایین پاره می‌شود.

پرسش(۲-۴) ..... صفحهٔ ۳۰ کتاب درسی

در شکل‌های زیر، قطعه‌یخ‌ها روی یک سطح افقی بدون اصطکاک قرار دارند. استنباط خود را از این شکل‌ها بیان کنید.



شکل‌های سمت راست نشان می‌دهند هر چه نیروی خالص وارد بر جسم بزرگ‌تر باشد، شتابی که جسم می‌گیرد نیز بیشتر خواهد بود. (یعنی شتاب با نیرو نسبت مستقیم دارد.)

شکل‌های سمت چپ نشان می‌دهند با یک نیروی خالص معین، هر چه جرم جسم بیشتر باشد، شتاب آن کمتر است. (شتاب با جرم نسبت وارون دارد.)

@physicsbook

پرسش(۲-۵) صفحهٔ ۳۳ کتاب درسی

شخصی در حال هل دادن جعبه‌ای سنگین روی سطح افقی است و این جعبه در جهت این نیرو حرکت می‌کند. با توجه به آنکه نیرویی که شخص به جعبه وارد می‌کند با نیرویی که جعبه به شخص وارد می‌کند هم‌اندازه است، توضیح دهید چگونه جعبه حرکت می‌کند؟

نیرویی که شخص وارد می‌کند به جعبه وارد می‌شود و عکس‌العمل آن، نیرویی است که از طرف جعبه به شخص وارد می‌شود. این نیروها به دو جسم مختلف وارد می‌شوند و در نتیجه اثر یکدیگر را خنثی نمی‌کنند. به عبارتی نمی‌توان برایند نیروهای کنش و واکنش را محاسبه کرد، زیرا به دو جسم مختلف وارد می‌شوند.

تمرین(۲-۱) صفحهٔ ۳۴ کتاب درسی

الف) وزن قطعه‌ای طلا به جرم ۱۰۰ گرم را روی سطح زمین به دست آورید.

$m = ۱۰۰g = ۰/۱kg$

$\vec{W}_{\text{زمین}} = m\vec{g}_{\text{زمین}} \Rightarrow W_{\text{زمین}} = ۰/۱ \times ۹/۸ = ۰/۹۸N$

ب) وزن یک جسم در سطح یک سیاره برابر با نیروی گرانشی است که از طرف آن سیاره بر جسم وارد می‌شود. وزن این قطعه طلا را در سطح ماه و مریخ به دست آورید و با هم مقایسه کنید.

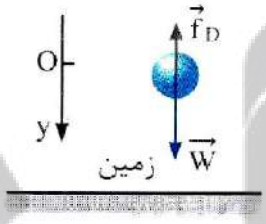
$(g_{\text{مریخ}} = ۳/۷N/kg , g_{\text{ماه}} = ۱/۶N/kg , g_{\text{زمین}} = ۹/۸N/kg)$

$$\left.\begin{array}{l} \vec{W}_{\text{ماه}} = m\vec{g}_{\text{ماه}} \Rightarrow W_{\text{ماه}} = ۰/۱ \times ۱/۶ = ۰/۱۶N \\ \vec{W}_{\text{مریخ}} = m\vec{g}_{\text{مریخ}} \Rightarrow W_{\text{مریخ}} = ۰/۱ \times ۳/۷ = ۰/۳۷N \end{array}\right\} \Rightarrow W_{\text{زمین}} > W_{\text{مریخ}} > W_{\text{ماه}}$$

تمرین(۲-۲) صفحهٔ ۳۵ کتاب درسی

اگر در مثال ۲-۵ از مقاومت هوا صرف نظر کنیم، سرعت برخورد گوی‌ها با زمین را با هم مقایسه کنید.

در صورت صرف نظر کردن از مقاومت هوا می‌توان نوشت:

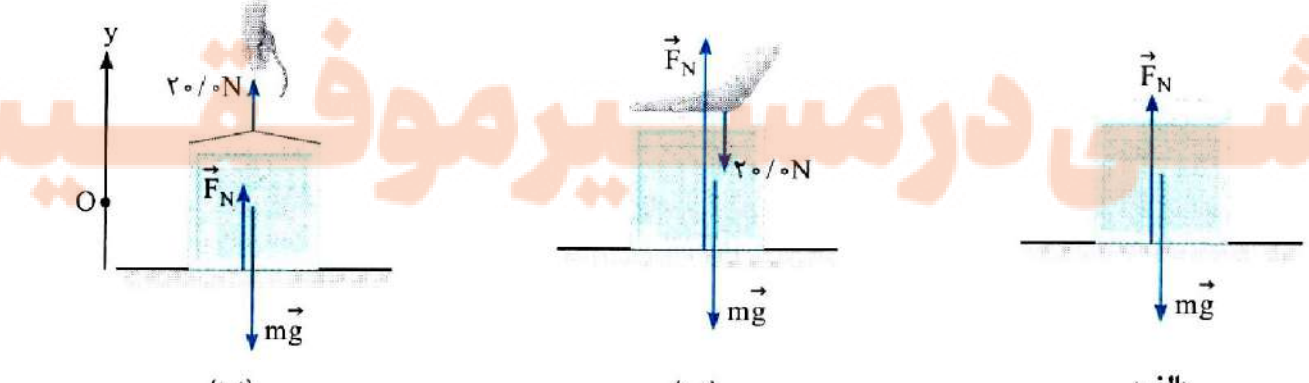


$$W - f_D = ma \xrightarrow{f_D = ۰} W = ma \Rightarrow a = \frac{W}{m} = \frac{mg}{m} = g$$

در این صورت شتاب حرکت هر دو گوی با شتاب گرانش زمین برابر می‌شود $(a_۲ = a_۱ = g)$ و مطابق با رابطهٔ، هر دو گوی با سرعت یکسان $v = \sqrt{۲gh}$ به زمین برخورد می‌کنند.

تمرین(۲-۳) صفحهٔ ۳۶ کتاب درسی

همانند شکل، جعبه‌ای به جرم ۴/۰kg روی میزی افقی قرار دارد. نیروی عمودی سطح را در حالت‌های نشان داده‌شده به دست آورید.



تلاشی در مسیر موفقیت

@physicsjeffbodi

الف) در این حالت بر جعبه فقط نیروی وزن و عمودی تکیه‌گاه وارد می‌شود.

$$\vec{F}_{net} = 0 \Rightarrow \vec{F}_N + \vec{mg} = 0 \Rightarrow F_N - mg = 0 \Rightarrow F_N = mg = 4 \times 10 = 40N$$

ب) در این حالت نیروی $F = 20N$ به طور عمودی و به طرف پایین بر جعبه وارد می‌شود.

$$\vec{F}_{net} = 0 \Rightarrow \vec{F}_N + \vec{mg} + \vec{F} = 0 \Rightarrow F_N - (mg + F) = 0 \Rightarrow F_N = mg + F = 40 + 20 = 60N$$

پ) در این حالت نیروی $F = 20N$ به طور عمودی و به طرف بالا بر جعبه وارد می‌شود.

$$\vec{F}_{net} = 0 \Rightarrow \vec{F}_N + \vec{mg} + \vec{F} = 0 \Rightarrow F_N + F - mg = 0 \Rightarrow F_N = mg - F = 40 - 20 = 20N$$

پرسش(۲-۶) صفحهٔ ۳۷ کتاب درسی

در مثال ۲-۶، در هر یک از حالت‌های زیر، عددی را که ترازوی فنری نشان می‌دهد با وزن شخص مقایسه کنید.

الف) آسانسور به طرف بالا شروع به حرکت کند. اگر آسانسور به طرف بالا حرکت کند، جهت سرعت شخص نیز به طرف بالا خواهد بود و چون آسانسور از حال سکون شروع به حرکت کرده است، بنابراین حرکت آن تندشونده و جهت شتاب آن نیز رو به بالا است، بنابراین طبق قانون دوم نیوتون داریم:

$$\vec{F}_{net} = \vec{ma} \Rightarrow \vec{F}_N + \vec{W} = \vec{ma} \Rightarrow F_N - W = ma \Rightarrow F_N = ma + W \Rightarrow F_N > W$$

ب) آسانسور به طرف پایین شروع به حرکت کند.

اگر آسانسور به طرف پایین حرکت کند، جهت سرعت شخص نیز به طرف پایین خواهد بود و چون آسانسور از حال سکون شروع به حرکت کرده، بنابراین حرکت آن تندشونده و جهت شتاب رو به پایین است، بنابراین داریم:

$$\vec{F}_{net} = \vec{ma} \Rightarrow \vec{F}_N + \vec{W} = \vec{ma} \Rightarrow F_N - W = -ma \Rightarrow F_N = W - ma \Rightarrow F_N < W$$

پ) آسانسور در حالی که به طرف بالا حرکت می‌کند، متوقف شود. چون آسانسور به طرف بالا حرکت می‌کرده و متوقف می‌شود، پس جهت سرعت آن به سمت بالا و حرکت آن کندشونده است، در نتیجه جهت شتاب در خلاف جهت سرعت و به سمت پایین است، بنابراین داریم:

$$\vec{F}_{net} = \vec{ma} \Rightarrow \vec{F}_N + \vec{W} = \vec{ma} \Rightarrow F_N - W = -ma \Rightarrow F_N = W - ma \Rightarrow F_N < W$$

ت) آسانسور در حالی که به طرف پایین حرکت می‌کند، متوقف شود. آسانسور به طرف پایین حرکت می‌کند و متوقف می‌شود، پس جهت سرعت آن به طرف پایین و حرکت آن کندشونده است، در نتیجه جهت شتاب در خلاف جهت سرعت و به طرف بالا است بنابراین داریم:

$$\vec{F}_{net} = \vec{ma} \Rightarrow \vec{F}_N + \vec{W} = \vec{ma} \Rightarrow F_N - W = ma \Rightarrow F_N = W + ma \Rightarrow F_N > W$$

پرسش(۲-۷) صفحهٔ ۳۸ کتاب درسی

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

هنگام راه رفتن به سمت جلو پایی را که روی زمین قرار دارد (پای تکیه‌گاه) به سمت عقب هل می‌دهیم، اما به دلیل وجود نیروی اصطکاک بین کف پا (کف کفش) و سطح زمین، پای تکیه‌گاه روی سطح زمین ثابت می‌ماند. عکس‌العمل این نیروی رو به عقب که از طرف کف پا به زمین وارد می‌شود، نیروی رو به جلویی است که از طرف زمین به کف پا وارد می‌شود. در نتیجه نیروی خالص رو به جلویی به بدن وارد شده و باعث حرکت رو به جلوی بدن می‌شود.

ب) چرا راه رفتن روی یک سطح سر مانند سطح یخ به‌سختی ممکن است؟ هنگام راه رفتن روی یک سطح سُر، نیروی وارد به عقبی که به پای تکیه‌گاه وارد می‌کنیم، بسیار بزرگ‌تر از نیروی اصطکاکی است که از طرف سطح به کف پا وارد می‌شود. بنابراین برایند نیروهای واردشده به پای تکیه‌گاه به سمت عقب خواهد بود و پای تکیه‌گاه به طرف عقب سُر می‌خورد. به همین دلیل برای جلوگیری از سُر خوردن باید نیروی واردشده به پای تکیه‌گاه را تا حد ممکن (کمتر از نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه بین کف پا و سطح سُر) کم کنیم. در نتیجه مجبور خواهیم بود با قدم‌های کوتاه و به آرامی روی سطح حرکت کنیم.

تمرین(۲-۴) ..... صفحهٔ ۳۹ کتاب درسی

اگر در شکل ۲-۱۲، جرم جسم $۴/۰kg$ و بزرگی نیروها $F_۱ = ۴/۰N$ ، $F_۲ = ۸/۰N$ و $F_۳ = ۱۶/۰N$ باشد،

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

حالت اول: $F_۱ - f_s = \cancel{ma}^{\circ} \Rightarrow f_s = F_۱ = ۴N$ جسم ساکن است.

حالت دوم: $F_۲ - f_s = \cancel{ma}^{\circ} \Rightarrow f_s = F_۲ = ۸N$ جسم ساکن است.

در حالت سوم جسم در آستانهٔ حرکت قرار دارد، بنابراین هنوز ساکن است و حرکتی نکرده است.

حالت سوم: $F_۳ - f_{s,max} = \cancel{ma}^{\circ} \Rightarrow f_{s,max} = F_۳ = ۱۶N$

ب) ضریب اصطکاک ایستایی را پیدا کنید. جسم ساکن است در نتیجه برایند نیروها در راستای قائم و افقی برابر با صفر است بنابراین اندازهٔ نیروی عمودی تکیه‌گاه با فرض $g = ۱۰\frac{N}{kg}$ برابر است با: $F_N = mg = ۴(۱۰) = ۴۰N$

بنابراین برای به دست آوردن ضریب اصطکاک ایستایی (μ_s) می‌توان نوشت:

$$f_{s,max} = \mu_s N \Rightarrow ۱۶ = \mu_s (۴۰) \Rightarrow \mu_s = ۰/۴$$

آزمایش(۲-۱) ..... صفحهٔ ۳۹ کتاب درسی

اندازه‌گیری ضریب اصطکاک ایستایی بین دو جسم

وسایل لازم: نیروسنج، قطعهٔ چوبی به شکل مکعب مستطیل با وجوه یکنواخت، ترازو، خط‌کش

شرح آزمایش:

۱- مکعب چوبی را از طرف وجه بزرگ آن، روی سطح افقی میز قرار دهید.

۲- نیروسنج را مانند شکل به مکعب چوبی وصل کنید و سر دیگر نیروسنج را با دست بگیرید و به طور افقی بکشید.

۳- نیروی دستتان را به‌آرامی افزایش دهید تا جایی که مکعب چوبی در آستانهٔ لغزیدن قرار گیرد. در این حالت عددی را که نیروسنج نشان می‌دهد، در جدول یادداشت کنید (برای اینکه دقت شما افزایش یابد لازم است آزمایش را چند بار تکرار کنید).

۴- اکنون مکعب چوبی را از طرف وجه کوچک‌تر روی سطح قرار دهید و مراحل ۲ و ۳ را تکرار کنید.

۵- با اندازه‌گیری جرم مکعب چوبی و با استفاده از رابطهٔ ۲-۴ مقدار μ_s را در هر آزمایش محاسبه و در جدول یادداشت کنید.

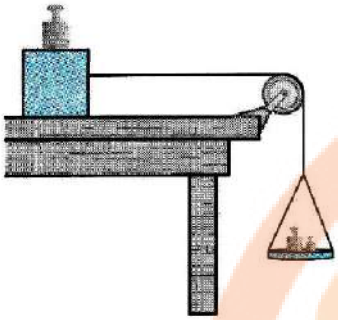
شمارهٔ آزمایش	مساحت سطح تماس قطعه با میز	وزن قطعه: ۱۲N	
		عددی که نیروسنج نشان می‌دهد ($f_{s,max}$)	μ_s
۱	$۱۵۰cm^۲$	۷/۱N	۰/۵۹
۲	$۵۰cm^۲$	۷/۲N	۰/۶

@physicsjeroom

همراه با اعضای گروه خود، نتیجه‌های به‌دست‌آمده را تفسیر کنید. نیروی اصطکاک ایستایی واردشده به دو جسم، به مساحت سطح تماس آن دو جسم بستگی ندارد.

فعالیت(۲-۲) ..... **صفحهٔ ۴۰ کتاب درسی**

آزمایشی طراحی کنید که نشان دهد $f_{s,max}$ متناسب با F_N است.



وسایل و مواد لازم: قرقرهٔ ثابت، نخ، وزنه‌های مختلف، کفه، قطعه چوبی

شرح آزمایش:

۱- مطابق شکل قرقره را روی لبهٔ میز سوار می‌کنیم و نخی را که یک سر آن به قطعه چوب و سر دیگر آن به کفه وصل است، از روی قرقره عبور می‌دهیم.

۲- به کفهٔ آویزان‌شده آنقدر وزنه اضافه می‌کنیم تا قطعه چوب روی میز شروع به حرکت کند. در این حالت مجموع وزن کفه و وزنه‌ها برابر با نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه است.

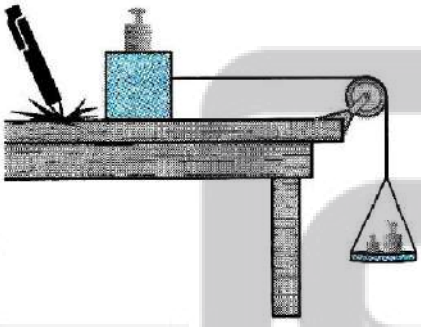
۳- وزنه‌های مختلف را روی قطعه چوبی قرار می‌دهیم و مرحلهٔ ۲ را برای هر وزنه تکرار می‌کنیم.

۴- نمودار تغییرات وزن وزنه‌های داخل کفه ($f_{s,max}$) را بر حسب وزن وزنه‌های روی قطعهٔ چوبی (F'_N) رسم می‌کنیم. مشاهده می‌شود که نمودار به صورت یک خط راست است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت $f_{s,max}$ با F_N متناسب است.

فعالیت(۲-۳) ..... **صفحهٔ ۴۰ کتاب درسی**

آزمایشی طراحی کنید که با آن بتوانید:

الف) نیروی اصطکاک جنبشی وارد بر جسمی مانند یک قطعه چوب در حال لغزش روی سطح را اندازه بگیرید و با استفاده از آن μ_k را به دست آورید.



ضربه زدن به میز باعث می‌شود قطعهٔ چوب در آستانهٔ حرکت قرار بگیرد.

وسایل لازم: قرقرهٔ ثابت، کفه، وزنه‌های متفاوت، قطعه‌چوبی با سطح زیرین صاف، نخ

شرح آزمایش:

۱- ابتدا دستگاهی مطابق شکل می‌بندیم.

۲- سپس با زدن ضربه‌های متوالی به سطح میز به آرامی در داخل کفه، وزنه اضافه می‌کنیم تا جایی‌که قطعهٔ چوبی با سرعت ثابت شروع به حرکت کند. در این حالت وزن وزنه‌های داخل کفه را یادداشت می‌کنیم. ($W = f_k$)

۳- وزنه‌های مختلف (W') را روی سطح قطعهٔ چوبی قرار می‌دهیم و برای هر وزنه مرحلهٔ ۲ را تکرار می‌کنیم.

۴- نمودار W را بر حسب W' رسم می‌کنیم. در این حالت شیب نمودار برابر با μ_k خواهد بود.

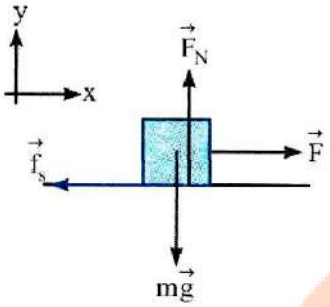
ب) بستگی یا عدم بستگی نیروی اصطکاک جنبشی به مساحت سطح تماس دو جسم را تحقیق کنید.

مکعب چوبی را از طرف وجه‌های دیگر نیز روی میز قرار می‌دهیم و مراحل آزمایش قسمت الف را انجام می‌دهیم. خواهیم دید نمودار رسم‌شده در هر دو حالت (قسمت الف و ب) منطبق بر هم است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت نیروی اصطکاک جنبشی به طور محسوسی به مساحت سطح تماس دو جسم بستگی ندارد.

@physics

تمرین(۲-۵) ..... صفحهٔ ۴۱ کتاب درسی

در مثال قبل اگر ضریب اصطکاک ایستایی بین جعبه و زمین ۰/۶۰۰ و جسم در ابتدا ساکن باشد، حداقل نیروی افقی لازم برای به حرکت درآوردن جعبه چقدر است؟ وقتی جسم در آستانهٔ حرکت قرار دارد، نیروی اصطکاک ایستایی واردشده به جسم، بیشینه است اما جسم حرکتی ندارد. یعنی برایند نیروهای واردشده بر آن صفر است. بنابراین با توجه به قانون دوم نیوتون داریم:



در راستای محور y: $\vec{F}_{y,net}=0 \Rightarrow F_N - W = 0 \Rightarrow F_N = W = mg = 75\times 9/8 = 735N$

در راستای محور x: $\vec{F}_{x,net}=0 \Rightarrow F - f_{s,max} = 0$

$$\Rightarrow F = f_{s,max} = \mu_s F_N = 0/6 \times 735 = 441N$$

بنابراین حداقل نیروی لازم برای به حرکت درآوردن جسم ۴۴۱N است.

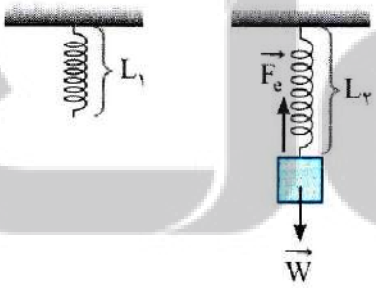
فعالیت(۲-۴) ..... صفحهٔ ۴۱ کتاب درسی

تعدادی فنر متفاوت تهیه کنید. الف) سختی آنها را مقایسه کنید. برخی از فنرها به سختی و برخی به راحتی فشرده می‌شوند، بنابراین فنرهایی که سخت‌تر فشرده می‌شوند سختی بیشتری نیز دارند.

ب) با طراحی یک آزمایش، ثابت هر فنر را به دست آورید.

وسایل لازم: چند فنر متفاوت، وزنه، خط‌کش، ترازو، پایه

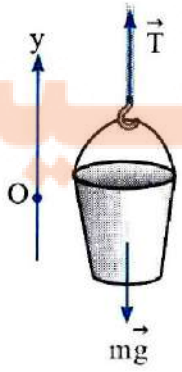
شرح آزمایش: ابتدا یکی از فنرها را به پایه آویزان می‌کنیم، طول آن را با خط‌کش اندازه گرفته و آن را L_1 می‌نامیم. سپس وزنه‌ای که قبلاً جرم (m) آن را با ترازو اندازه گرفته‌ایم به فنر متصل می‌کنیم و منتظر می‌مانیم تا فنر به حال سکون در آید. در این حالت طبق قانون دوم نیوتون نیروی کشسانی فنر برابر با وزن جسم است. اکنون مجدداً طول فنر را اندازه گرفته و آن را L_2 می‌نامیم. حال از طریق قانون هوک می‌توانیم ثابت فنر را محاسبه کنیم.



$$F_e - W = ma = 0 \Rightarrow F_e = W \Rightarrow k(L_2 - L_1) = mg \Rightarrow k = \frac{mg}{L_2 - L_1}$$

تمرین(۲-۶) ..... صفحهٔ ۴۳ کتاب درسی

کارگری یک سطل محتوی مصالح به جرم ۱۶/۰kg را با طناب سبکی به طرف بالا می‌کشد. اگر شتاب رو به بالای سطل $1/2\ m/s^2$ باشد، نیروی کشش طناب چقدر است؟



جهت مثبت محور y را رو به بالا انتخاب می‌کنیم. بنابراین با توجه به نیروهای رسم‌شده و قانون دوم نیوتون داریم:

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \Rightarrow T - mg = ma \Rightarrow T = mg + ma = m(g+a) = 16\times(9/8 + 1/2) = 176N$$

تلاشی درسیر موفقیت

@physicsjeffbodi

تمرین(۲-۷) ..... صفحهٔ ۴۵ کتاب درسی

نشان دهید بین اندازهٔ تکانه (p) و انرژی جنبشی (K) جسمی به جرم m، رابطهٔ $K=\frac{p^2}{2m}$ برقرار است.

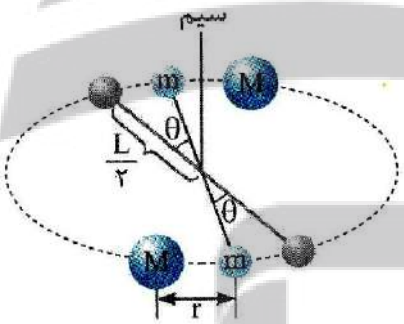
با استفاده از رابطهٔ انرژی جنبشی و تکانه می‌توان نوشت:

$$\left.\begin{array}{l} K=\frac{1}{2}mv^2 \\ p=mv\Rightarrow v=\frac{p}{m} \end{array}\right\}\Rightarrow K=\frac{1}{2}m(\frac{p}{m})^2=\frac{p^2}{2m}$$

فعالیت(۲-۵) ..... صفحهٔ ۴۷ کتاب درسی

ثابت گرانشی G را اولین بار هنری کاوندیش در سال ۱۷۹۸ اندازه‌گیری کرد. در مورد روش اندازه‌گیری G توسط هنری کاوندیش تحقیق کنید و نتیجه را به کلاس گزارش دهید.

اوندیش برای بررسی تجربی قانون گرانش عمومی نیوتون و تعیین مقدار ثابت گرانش عمومی از یک ترازوی پیچشی بسیار حساس استفاده کرد. در این ترازو دو گلولهٔ کوچک سربی به جرم $m=0/73kg$ به دو انتهای یک میلهٔ سبک متصل‌اند و میله توسط سیمی که به مرکز جرم آن متصل است آویزان شده است. دو گلولهٔ بزرگ سربی به جرم $M=158kg$ نیز در نزدیک دو سر میله و در دو طرف مخالف قرار داده شده‌اند و در اطراف آن تلسکوپی تعبیه شده که به وسیلهٔ آن میزان انحراف یا زاویهٔ چرخش میله قابل اندازه‌گیری است.



هرگاه گلوله‌های بزرگ در نزدیکی گلوله‌های کوچک قرار گیرند براساس قانون گرانش عمومی، بر گلوله‌های کوچک نیروی جاذبه‌ای وارد می‌شود که باعث چرخیدن میله و در نتیجه تاب خوردن رشتهٔ نازک می‌شود. چرخش میله تا زاویه‌ای ادامه می‌یابد که نیروی پیچشی واردشده از طرف سیم با نیروی گرانشی بین گلوله‌های سربی برابر شود.

$$(k\theta=\frac{GmM}{r^2})$$

با برداشتن گلوله‌های بزرگ سربی از داخل ترازو و اندازه‌گیری دورهٔ تناوب نوسان‌های آزاد گلوله‌های کوچک متصل به میله، ثابت پیچشی سیم مورد استفاده در ترازو به دست می‌آید.

$$(T=2\pi\sqrt{\frac{mL^2}{2k}})$$

در نتیجه با ترکیب دو رابطهٔ فوق ثابت گرانش عمومی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$G=\frac{2\pi^2Lr^2\theta}{MT^2}$$

تمرین(۲-۸) ..... صفحهٔ ۴۹ کتاب درسی

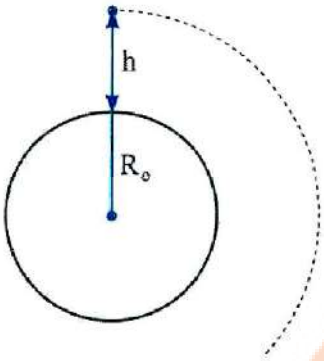
نشان دهید که شتاب گرانشی در سطح زمین از رابطهٔ $g=G\frac{M_e}{R_e^2}$ به دست می‌آید.

نیروی گرانشی که از طرف زمین به یک جسم که روی سطح زمین قرار دارد، وارد می‌شود برابر با وزن جسم روی سطح زمین است. بنابراین:

$$W=mg=G\frac{M_em}{R_e^2}\Rightarrow g=\frac{GM_e}{R_e^2}$$

تلاشی در مسیر موفقیت

تلسکوپ فضایی هابل در ارتفاع تقریبی ۶۰۰ کیلومتری از سطح زمین به دور زمین می‌چرخد.



الف) شتاب گرانشی در این فاصله چقدر است؟

$$h = ۶۰۰km\ ,\ G = ۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\frac{N.m^۲}{kg^۲}\ ,\ M_e = ۵/۹۸\times۱۰^{۲۴}kg$$

$$R_e = ۶۴۰۰\times۱۰^{۳}m$$

شتاب گرانشی در فاصلهٔ r از مرکز زمین از رابطهٔ $g = G\frac{M_e}{r^۲}$ محاسبه می‌شود. با در نظر گرفتن $r = R_e + h$ می‌توانیم بنویسیم:

$$r = R_e + h = ۶۴۰۰ + ۶۰۰ = ۷۰۰۰km = ۷\times۱۰^{۶}m$$

$$g' = G\frac{M_e}{r^۲} = ۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\times\frac{۵/۹۸\times۱۰^{۲۴}}{(۷\times۱۰^{۶})^۲} = ۸/۱۴\frac{m}{s^۲}$$

ب) وزن این تلسکوپ در این ارتفاع چند برابر وزن آن روی زمین است؟

اگر وزن تلسکوپ در ارتفاع ۶۰۰ کیلومتری را با W_h و در سطح زمین با W_e نشان دهیم، داریم:

$$\frac{W_h}{W_e} = \frac{G\frac{mM_e}{(R_e+h)^۲}}{G\frac{mM_e}{R_e^۲}} \Rightarrow \frac{W_h}{W_e} = (\frac{R_e}{R_e+h})^۲ = (\frac{۶۴۰۰}{۷۰۰۰})^۲ = ۰/۸۳۶$$

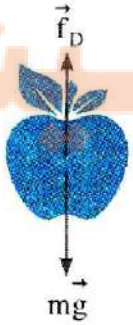
پرسش‌ها و مسئله‌های فصل (۲) ..... صفحهٔ ۵۰ تا ۵۲ کتاب درسی

۱ سیبی را در نظر بگیرید که به شاخهٔ 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.

وقتی سیب به شاخهٔ درخت آویزان است، نیروی وزن از طرف زمین به طرف پایین و نیروی F از طرف درخت و رو به بالا به آن وارد می‌شود. با توجه به اینکه سیب ساکن است، این دو نیرو متوازن‌اند و اندازهٔ آنها با هم برابر است.

بعد از جدا شدنِ سیب از درخت، نیروی وزن رو به پایین و نیروی مقاومت هوا رو به بالا به سیب وارد می‌شود و با توجه به اینکه سیب به سمت پایین شتاب می‌گیرد، اندازهٔ نیروی وزن از نیروی مقاومت هوا بیشتر است.



ب) در هر حالت واکنش این نیروها بر چه اجسامی وارد می‌شود؟

واکنش نیروی وزن به زمین، واکنش نیروی مقاومت هوا به مولکول‌های هوای اطراف سیب و واکنش نیروی درخت به درخت وارد می‌شود.

@ physicsjoo

(۲) 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.

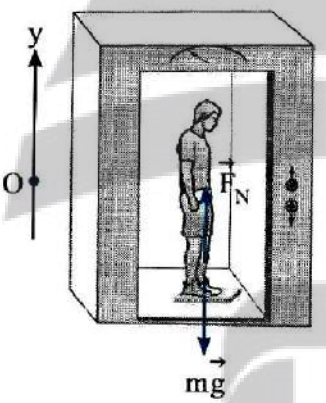
وقتی خودرو ساکن است، شخص نیز ساکن است. با حرکت ناگهانی خودرو روبه جلو، شخص تمایل دارد حالت سکون خود را حفظ کند بنابراین به صندلی فشرده می‌شود.

همچنین شخص درون خودروی در حال حرکت، تمایل دارد حرکت روبه جلوی خود را حفظ کند بنابراین وقتی خودرو ترمز می‌کند، شخص به سمت جلو پرتاب می‌شود.

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

با توجه به اینکه اجسام دارای لختی هستند هنگامی که سرعت خودرو کم می‌شود سرنشینان داخل خودرو تمایل به ادامهٔ حرکت خود را دارند بنابراین با ترمز زدن اتومبیل، به سمت جلو پرتاب می‌شوند. در این وضعیت کمربند ایمنی و کیسه هوا مانع آسیب رسیدن به افراد می‌شوند.

(۳) دانش‌آموزی به جرم $50/0kg$ روی یک ترازوی فنری در آسانسور ایستاده است. در هر یک از حالت‌های زیر این ترازو چند نیوتون را نشان می‌دهد؟ $(g = 9/80N/kg)$



الف) آسانسور ساکن است.

جهت مثبت محور y را رو به بالا انتخاب می‌کنیم. هنگامی که آسانسور ساکن است شخص نیز ساکن است و نیروی خالص وارد بر او صفر است:

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} = 0 \Rightarrow F_N - mg = 0 \Rightarrow F_N = mg = 50 \times 9/8 = 490N$$

ب) آسانسور با سرعت ثابت حرکت می‌کند.

در حالتی که آسانسور با سرعت ثابت حرکت کند، شخص نیز با سرعت ثابت حرکت می‌کند بنابراین شتاب حرکت برابر صفر است. طبق قانون دوم نیوتون داریم: $\vec{F}_{net} = m\vec{a} = 0 \Rightarrow F_N - mg = 0 \Rightarrow F_N = mg = 50 \times 9/8 = 490N$

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

اگر آسانسور با شتاب حرکت کند، حرکت شخص نیز شتاب‌دار خواهد بود. با توجه به اینکه جهت حرکت (سرعت) رو به بالا و حرکت تندشونده است (زیرا آسانسور شروع به حرکت کرده)، شتاب و سرعت هم‌جهت هستند. بنابراین:

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \Rightarrow F_N - mg = ma \Rightarrow F_N = mg + ma = m(g+a) \Rightarrow F_N = 50 \times (9/8 + 1/2) = 550N$$

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

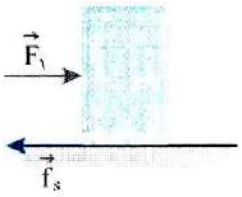
جهت حرکت (سرعت) رو به پایین است. با توجه به اینکه حرکت تندشونده است، شتاب و سرعت هم‌جهت هستند. شتاب روبه پایین را با علامت منفی در نظر می‌گیریم:

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \Rightarrow F_N - mg = -ma \Rightarrow F_N = mg - ma = m(g-a) \Rightarrow F_N = 50 \times (9/8 - 1/2) \Rightarrow F_N = 430N$$

@physicsjeihoodi

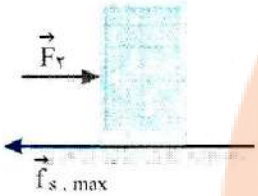
۴) در شکل نشان داده‌شده، شخص با نیروی ۲۰۰N جسم ۹۰/۰ کیلوگرمی را هُل می‌دهد، اما جسم ساکن می‌ماند. ولی وقتی با نیروی ۳۰۰N جسم را هُل می‌دهد، جسم در آستانهٔ حرکت قرار می‌گیرد.

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



حالت اول: جسم ساکن است، بنابراین نیروی واردشده به جسم متوازن‌اند:

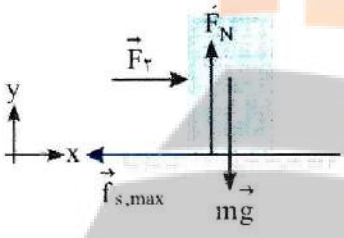
$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} = 0 \Rightarrow F_1 - f_s = 0 \Rightarrow F_1 = f_s \Rightarrow f_s = 200N$$



حالت دوم: جسم در آستانهٔ حرکت قرار دارد و همچنان ساکن است بنابراین داریم:

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} = 0 \Rightarrow F_2 - f_{s,max} = 0 \Rightarrow F_2 = f_{s,max} \Rightarrow f_{s,max} = 300N$$

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

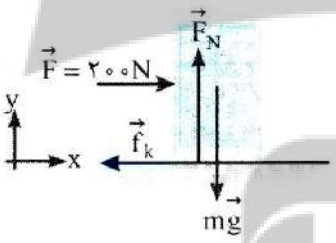


جسم در راستای قائم ثابت است در نتیجه داریم:

$$\vec{F}_{y,net} = m\vec{a} = 0 \Rightarrow F_N - mg = 0 \Rightarrow F_N = mg = 90 \times 10 = 900N$$

$$f_{s,max} = \mu_s N \Rightarrow 300 = \mu_s \times 900 \Rightarrow \mu_s = \frac{1}{3}$$

پ) اگر پس از حرکت، شخص با نیروی ۲۰۰N جسم را هُل دهد و ضریب اصطکاک جنبشی بین سطح و جسم ۰/۲۰ باشد، شتاب حرکت جسم چقدر خواهد شد؟



با بررسی قانون دوم نیوتون در راستای محور x داریم:

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \Rightarrow F - f_k = ma \Rightarrow F - \mu_k F_N = ma$$

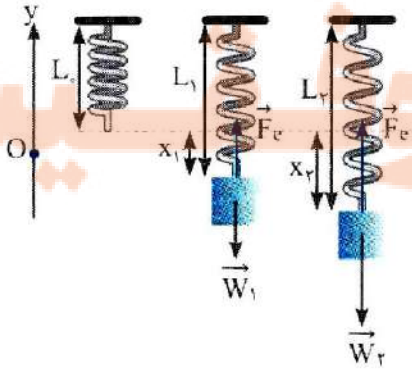
$$\Rightarrow 200 - (0/2 \times 900) = 90a \Rightarrow 200 - 180 = 90a \Rightarrow a = \frac{2}{9}\frac{m}{s^2}$$

۵) در شکل روبه‌رو وقتی وزنهٔ ۴/۰kg را به فنر آویزان می‌کنیم، طول فنر ۱۴/۰cm می‌شود، و وقتی وزنهٔ ۵/۰kg را به فنر آویزان می‌کنیم، طول فنر ۱۵/۰cm می‌شود.

الف) ثابت فنر چقدر است؟

$$m_1 = 4kg\ ,\ L_1 = 14cm\ ,\ m_2 = 5kg\ ,\ L_2 = 15cm\ ,\ k = ?$$

با در نظر گرفتن جهت مثبت محور y، رو به بالا و استفاده از قانون دوم نیوتون برای هر دو حالت داریم:



$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} = 0 \Rightarrow F_e - W = 0 \Rightarrow kx = W$$

$$\Rightarrow \begin{cases} kx_1 = m_1 g \Rightarrow k(L_1 - L_0) = m_1 g & (1) \\ kx_2 = m_2 g \Rightarrow k(L_2 - L_0) = m_2 g & (2) \end{cases}$$

$$\xrightarrow{(1)\ ,\ (2)} k(L_2 - L_1) = (m_2 - m_1)g$$

$$\Rightarrow k = \frac{(m_2 - m_1)g}{L_2 - L_1} = \frac{5-4}{15-14} \times 10 = 10\frac{N}{cm}$$

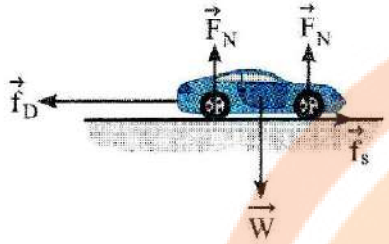
@physicsjeffbook

ب) طول عادی فنر (بدون وزنه) چند سانتی‌متر است؟ با جایگذاری k در یکی از معادله‌های (۱) یا (۲) داریم:

$$k(L_1 - L_0) = m_1 g \xrightarrow{k=10\frac{N}{cm}} 10(14 - L_0) = 4\times 10 \Rightarrow L_0 = 10cm$$

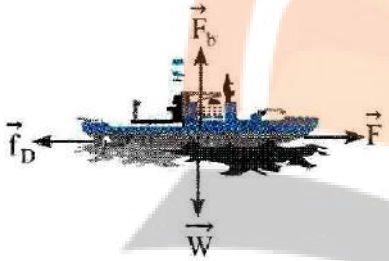
۶ در هر یک از موارد زیر، نیروهای وارد بر جسم را مشخص کنید. واکنش هر یک از این نیروها به چه جسمی وارد می‌شود؟

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



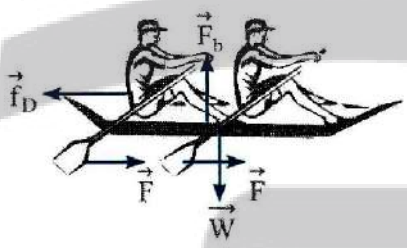
بر خودروی در حال حرکت نیروی‌های مقابل وارد می‌شوند. واکنش نیروی وزن(W) به زمین وارد می‌شود. واکنش نیروی عمودی تکیه‌گاه ($\vec{F}_N$) به سطح جاده وارد می‌شود. واکنش نیروی اصطکاک ایستایی (F_S) نیروی رو به عقبی است که در راستای سطح جاده وارد می‌شود. واکنش نیروی مقاومت هوا ($\vec{f}_D$) نیزبه مولکول‌های هوا وارد می‌شود.

ب) کشتی‌ای با سرعت ثابت در حال حرکت است.



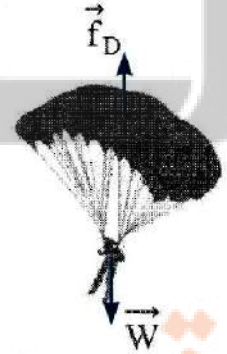
واکنش نیروی پیشران ($\vec{F}$) نیروی است که از طرف پروانه‌های چرخان داخل آب به مولکول‌های آب وارد می شود. واکنش نیروی مقاومت ($\vec{f}_D$) به مولکول‌های آب و هوایی که با بدنهٔ کشتی برخورد می‌کند وارد می‌شود. واکنش نیروی وزن (W) به زمین و واکنش نیروی شناوری ($\vec{F}_b$) نیز به آب وارد می‌شود.

پ) قایقرانی در حال پارو زدن است.



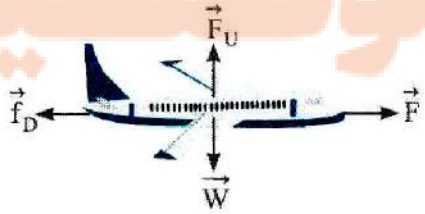
قایق و قایقران را به‌صورت یک جسم واحد در نظر می گیریم بنابراین نیروهای وارد بر آنها به صورت روبه‌رو خواهد بود. عکس‌العمل نیروی ($\vec{W}$) به زمین وارد می‌شود و عکس‌العمل نیروی پیشران ($\vec{F}$) به مولکول‌های آب که به پارو برخورد می‌کنند و عکس العمل نیروی مقاومت ($\vec{f}_D$) به مولکول‌های آب و هوایی که با سطح قایق و قایقران برخورد می‌کنند وارد می‌شود.عکس العمل نیروی شناوری ($\vec{F}_b$) هم به‌صورت عمودی به مولکول‌های آب وارد می‌شود.

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



نیروهای وزن ($\vec{W}$) و مقاومت هوا ($\vec{f}_D$) به چتر باز وارد می‌شوند. واکنش نیروی وزن به زمین و واکنش نیروی مقاومت هوا، به مولکول‌های هوا وارد می‌شود.

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



واکنش نیروی پیشران به مولکول‌های هوایی وارد می‌شود که با پروانه‌های موتور هواپیما در تماس هستند، واکنش نیروی بالابری ($\vec{F}_u$) به مولکول‌های هوای زیر و روی بال‌ها، واکنش نیروی مقاوم ($\vec{f}_D$) به مولکول‌های هوای در تماس با بدنهٔ هواپیما و واکنش نیروی وزن به زمین وارد می‌شود.

@physicsjeihoodi

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

هنگام برخورد توپ با زمین نیروی وزن و نیروی عمودی سطح بر توپ اثر می‌کنند و عکس العمل هر دو نیرو به زمین وارد می‌شود.

۷) رانندهٔ خودرویی که با سرعت $72/0\,km/h$ در یک مسیر مستقیم در حال حرکت است، با دیدن مانعی اقدام به ترمز می‌کند و خودرو پس از طی مسافت $20/0\,m$ متوقف می‌شود.

الف) شتاب خودرو در مدت ترمز چقدر است؟

$$v_0 = 72\frac{km}{h} = 20\frac{m}{s}\ ,\ \Delta x = 20m\ ,\ v = 0\ ,\ a = ?$$

$$v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x \Rightarrow 0 - 20^2 = 2a(20) \Rightarrow a = -\frac{400}{40} = -10\frac{m}{s^2}$$

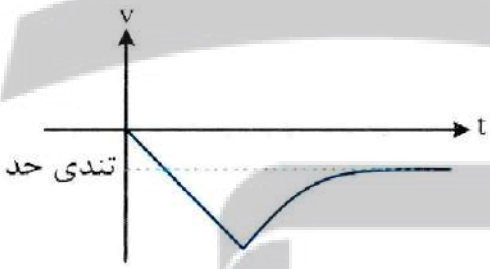
ب) از لحظهٔ ترمز تا توقف کامل خودرو، چقدر طول می‌کشد؟

$$v = at + v_0 \Rightarrow 0 = -10t + 20 \Rightarrow t = 2s$$

پ) نیروی اصطکاک بین لاستیک‌ها و سطح چقدر است؟ جرم خودرو را $1200\,kg$ در نظر بگیرید. اگر جرم خودرو و سرنشینانش را m در نظر بگیریم، با توجه به قانون دوم نیوتون داریم:

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \Rightarrow f_k = ma = 10 \times 1200 = 12000N$$

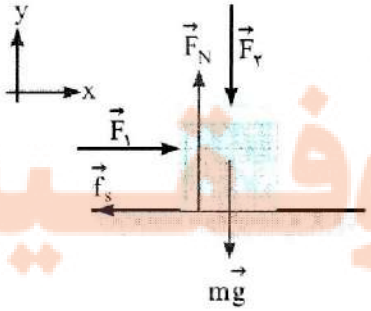
۸) چتربازی از یک بالگرد تقریباً ساکن که در ارتفاع نسبتاً زیادی قرار دارد، به بیرون می‌پرد و پس از مدتی چتر خود را باز می‌کند و در امتداد قائم سقوط می‌کند. حرکت چترباز را از لحظهٔ پرش تا رسیدن به زمین تحلیل کنید و نموداری تقریبی از تندی آن بر حسب زمان رسم کنید.



تا قبل از باز شدن چتر، حرکت به صورت سقوط آزاد بوده و شتاب حرکت چترباز، همان شتاب ثابت g (گرانش زمین) است. بعد از باز شدن چتر و با وارد شدن نیروی مقاومت هوا، شتاب حرکت به سمت بالا خواهد بود و سرعت حرکت چترباز کاهش می‌یابد. در نتیجه نیروی مقاومت هوا نیز کم می‌شود تا اینکه نیروی مقاومت هوا و وزن با هم برابر شده و نیروهای وارد بر چترباز متوازن می‌شوند. بعد از آن، چترباز با تندی ثابت موسوم به تندی حدی، به طرف پایین حرکت می‌کند.

۹) در شکل زیر، نیروی F_1 به بزرگی $20/0\,N$ بر جعبه وارد شده است، اما جعبه همچنان ساکن است. اگر در همین حالت بزرگی نیروی قائم $\vec{F}_2$ که جعبه را به زمین می‌فشارد از صفر شروع به افزایش کند، کمیت‌های زیر چگونه تغییر می‌کنند؟

چون جسم ساکن است، نیروی خالص وارد بر آن در راستای افقی و قائم برابر صفر است:



در راستای افق داریم:

رابطهٔ (۱) $$\vec{F}_{x,net} = m\vec{a} = 0 \Rightarrow F_1 - f_s = 0 \Rightarrow F_1 = f_s$$

در راستای قائم می‌توان نوشت:

رابطهٔ (۲) $$\vec{F}_{y,net} = m\vec{a} = 0 \Rightarrow F_N - mg - F_2 = 0 \Rightarrow F_N = mg + F_2$$

الف) اندازهٔ نیروی عمودی سطح وارد بر جعبه

مطابق رابطهٔ (۲) با افزایش F_2 ، نیروی عمودی سطح نیز افزایش می‌یابد.

@physicsjeffbodi

ب) اندازهٔ نیروی اصطکاک ایستایی وارد بر جعبه

مطابق رابطهٔ (۱)، نیروی اصطکاک تغییر نمی‌کند زیرا F_1 تغییر نمی‌کند.

پ) اندازهٔ بیشینهٔ نیروی اصطکاک ایستایی

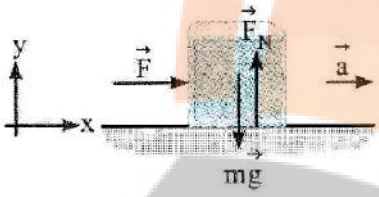
مطابق با رابطهٔ $f_{s,max} = \mu_s F_N$ و با توجه به افزایش F_N، بیشینهٔ نیروی اصطکاک ایستایی ($f_{s,max}$) نیز افزایش می‌یابد.

ت) نیروی خالص وارد بر جسم

مطابق رابطهٔ $F = ma$ و با توجه به اینکه $a = 0$ است نیروی خالص برابر صفر بوده و تغییر نمی‌کند.

(۱۰) می‌خواهیم به جسمی که جرم آن ۵/۰kg است، شتاب ۲/۰m/s² بدهیم. در هر یک از حالت‌های زیر، نیرویی را که باید به جسم وارد کنیم محاسبه کنید.

با در نظر گرفتن جهت مثبت محور x به سمت راست و جهت مثبت محور y به سمت بالا داریم:

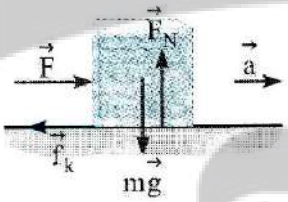


$$m = 5kg\ ,\ a = 2\frac{m}{s^2}$$

الف) جسم روی سطح افقی بدون اصطکاک حرکت کند.

در راستای محور x: $\vec{F}_{net} = m\vec{a} \Rightarrow F = ma = 5 \times 2 = 10N$

ب) جسم روی سطح افقی با ضریب اصطکاک ۰/۲۰ به طرف راست حرکت کند، و شتابش نیز به طرف راست باشد.

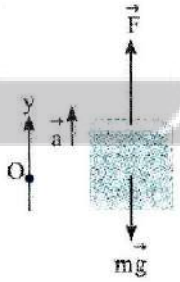


در راستای محور y: $\vec{F}_{y,net} = m\vec{a}_y = 0 \Rightarrow F_N - mg = 0 \Rightarrow F_N = mg$

در راستای محور x: $\vec{F}_{x,net} = m\vec{a}_x \Rightarrow F - f_k = ma$

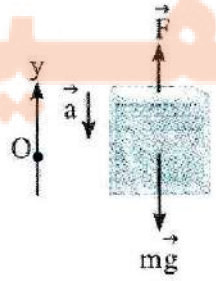
$$\Rightarrow F = \mu_k F_N + ma = \mu_k mg + ma \Rightarrow F = (0/2 \times 5 \times 10) + (5 \times 2) = 20N$$

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



$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \Rightarrow F - mg = ma \Rightarrow F = mg + ma \Rightarrow F = m(g + a) = 5(10 + 2) = 60N$$

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



$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \Rightarrow F - mg = -ma \Rightarrow F = mg - ma = m(g - a)$$

$$\Rightarrow F = 5(10 - 2) = 40N$$

تلنگر تا تیر موفقیت

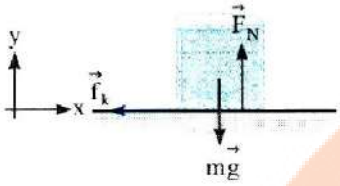
@physicsjeihoodi

(۱۱) قطعه‌چوبی را با سرعت افقی $۱۰/۰ \frac{m}{s}$ روی سطحی افقی پرتاب می‌کنیم. ضریب اصطکاک جنبشی بین چوب و سطح ۰/۲۰ است.

الف) چوب پس از پیمودن چه مسافتی می‌ایستد؟

$$v_۰ = ۱۰\frac{m}{s}, \mu_k = ۰/۲, v = ۰, \Delta x = ?$$

ابتدا شتاب حرکت جسم را محاسبه می‌کنیم:



در راستای محور y: $\vec{F}_{y,net} = ۰ \Rightarrow F_N - mg = ۰ \Rightarrow F_N = mg$

در راستای محور x: $\vec{F}_{x,net} = m\vec{a} \Rightarrow ۰ - f_k = ma \Rightarrow -\mu_k F_N = ma$

$$\Rightarrow -\mu_k (mg) = ma \Rightarrow a = -\mu_k g = -۰/۲ \times ۱۰ = -۲\frac{m}{s^۲}$$

با استفاده از معادلهٔ مستقل از زمان داریم:

$$v^۲ - v_۰^۲ = ۲a\Delta x \Rightarrow ۰ - (۱۰)^۲ = ۲ \times (-۲) \times \Delta x \Rightarrow \Delta x = ۲۵m$$

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 پیموده‌شدهٔ آن چند برابر می‌شود؟

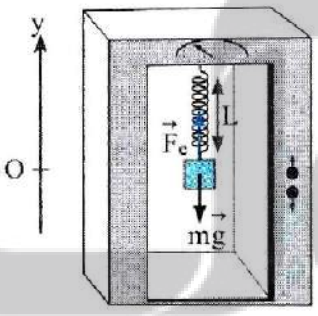
طبق قسمت قبل شتاب حرکت جسم مستقل از جرم جسم است. بنابراین داریم:

$$a_۲ = -\mu_k g = -۰/۲ \times ۱۰ = -۲\frac{m}{s^۲}$$

بنابراین جابه‌جایی در مرحلهٔ (الف) با جابه‌جایی در مرحلهٔ (ب) برابر است. $(\Delta x_۱ = \Delta x_۲ = ۲۵m)$

(۱۲) وزنه‌ای به جرم ۲/۰kg را به انتهای فنری به طول ۱۲cm که ثابت آن ۲۰N/cm است می‌بندیم و فنر را از سقف یک آسانسور آویزان می‌کنیم. طول فنر را در حالت‌های زیر محاسبه کنید.

الف) آسانسور ساکن است.



$$m = ۲kg, L_۰ = ۱۲cm, k = ۲۰\frac{N}{cm}, L = ?$$

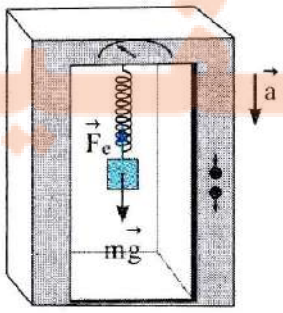
هنگامی که آسانسور ساکن است، وزنه نیز ساکن است بنابراین داریم:

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} = ۰ \Rightarrow F_e - mg = ۰ \Rightarrow kx = mg \Rightarrow ۲۰x = ۲ \times ۱۰ \Rightarrow x = \frac{۲۰}{۲۰} = ۱cm$$

$$L = L_۰ + x = ۱۳cm$$

ب) آسانسور با سرعت ثابت $۲/۰ \frac{m}{s}$ رو به پایین در حرکت است. هنگامی که سرعت آسانسور ثابت است شتاب حرکت برابر با صفر است. در نتیجه همانند قسمت (الف) طول فنر برابر با ۱۳cm خواهد شد.

پ) آسانسور با شتاب ثابت $۲/۰ \frac{m}{s^۲}$ از حال سکون رو به پایین شروع به حرکت کند.



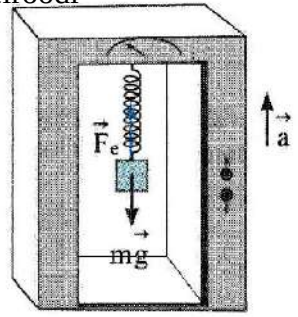
$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \Rightarrow F_e - mg = -ma \Rightarrow F_e = m(g-a) \Rightarrow kx = m(g-a)$$

$$\Rightarrow ۲۰x = ۲(۱۰ - ۲) \Rightarrow ۲۰x = ۱۶ \Rightarrow x = ۰/۸cm$$

$$L = L_۰ + x = ۱۲/۸cm$$

@physicsjeshoal

ت) اسانسور با شتاب ثابت $۲/۰\frac{m}{s^۲}$ از حال سکون رو به بالا شروع به حرکت کند.



$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \Rightarrow F_e - mg = ma \Rightarrow F_e = m(g+a) \Rightarrow kx = m(g+a)$$

$$\Rightarrow ۲۰x = ۲(۱۰+۲) \Rightarrow x = ۱/۲cm$$

$$L = L_۰ + x = ۱۳/۲cm$$

(۱۳) برای یک راننده دانستن کل مسافت توقف خودرو اهمیت دارد. همان طور که شکل نشان می‌دهد کل مسافت توقف، دو قسمت دارد؛ مسافت واکنش (مسافتی که خودرو از لحظهٔ دیدن مانع تا ترمزگرفتن طی می‌کند) و مسافت ترمز (مسافتی که خودرو از لحظه ترمزگرفتن تا توقف کامل طی می‌کند).

الف) دو عامل مؤثر در مسافت واکنش را بنویسید.

سرعت اتومبیل و زمان واکنش راننده

ب) زمان واکنش راننده‌ای $۰/۶s$ است. در طی این زمان، خودرو مسافت $۱۸m$ را طی می‌کند. با فرض ثابت بودن سرعت در این مدت، اندازهٔ آن را حساب کنید.

$$\Delta t = ۰/۶s\ ,\ \Delta x = ۱۸m\ ,\ v = ?$$

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۱۸}{۰/۶} = ۳۰\frac{m}{s}$$

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

خودرو پس از چند ثانیه می‌ایستد، بنابراین سرعت نهایی آن برابر با صفر است. با توجه به ثابت بودن شتاب می‌توان نوشت:

$$\Delta x = \frac{v + v_۰}{۲}\Delta t \Rightarrow \Delta x = \frac{۰+۳۰}{۲} \times ۵ = ۷۵m$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۰-۳۰}{۵} = -۶\frac{m}{s^۲}$$

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

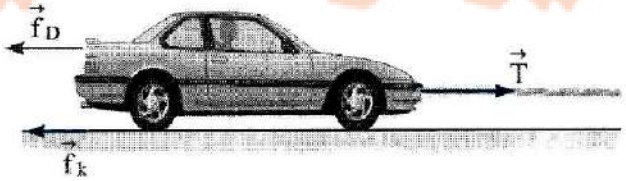
با در نظرگرفتن جهت مثبت محور x در جهت حرکت خودرو با توجه به قانون دوم نیوتون داریم:

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \Rightarrow F_{net} = ma = ۱۵۰۰ \times (-۶) = -۹۰۰۰N$$

علامت منفی نشان می‌دهد که نیرو در خلاف جهت حرکت خودرو به آن وارد می‌شود.

(۱۴) یک خودروی باری با طناب افقی محکمی، یک خودروی سواری به جرم $۱۵۰۰kg$ را می‌کشد. نیروی اصطکاک و مقاومت هوا در مقابل حرکت خودروی سواری $۲۲۰N$ و $۳۸۰N$ است.

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



$$f_k = ۲۲۰N\ ,\ f_D = ۳۸۰N\ ,\ T = ?$$

$$\vec{F}_{net} = ma = ۰ \Rightarrow T - (f_D + f_k) = ۰$$

$$\Rightarrow T = f_D + f_k = ۳۸۰ + ۲۲۰ = ۶۰۰N$$

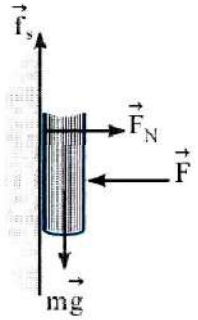
تلاش در مسیر موفقیت

physicsjeffbod

ب) اگر خودرو با شتاب ثابت $۲/۰ m/s^۲$ به طرف راست کشیده شود، نیروی کشش طناب چقدر است؟

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \Rightarrow T - (f_D + f_k) = ma \Rightarrow T = (f_D + f_k) + ma = ۶۰۰ + (۱۵۰۰ \times ۲) = ۳۶۰۰N$$

۱۵) 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 $۲/۵kg$ باشد، اندازهٔ نیروی اصطکاک را به دست آورید.

با توجه به اینکه کتاب ساکن است، برایند نیروها در راستای افقی و عمودی برابر صفر در نتیجه در راستای قائم می‌توان نوشت:

$$\vec{F}_{net} = ۰ \Rightarrow f_s - mg = ۰ \Rightarrow f_s = mg = ۲/۵ \times ۱۰ = ۲۵N$$

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

خیر، زیرا نیروی اصطکاک با نیروی وزن جسم برابر است. نیروی F در راستای افقی بر جسم اثر می‌گذارد بنابراین با افزایش F، نیروی عمودی سطح (F_N) افزایش می‌یابد.

۱۶) توپی به جرم $۲۸۰g$ با تندی $۱۵/۰ m/s$ به طور افقی به بازیکنی نزدیک می‌شود. بازیکن با مشت به توپ ضربه می‌زند و باعث می‌شود توپ با تندی $۲۲/۰ m/s$ در جهت مخالف برگردد.

الف) اندازهٔ تغییر تکانهٔ توپ را محاسبه کنید.

جهت مثبت محور x را در جهت حرکت اولیهٔ توپ در نظر می‌گیریم. بنابراین:

$$v_۱ = (۱۵\frac{m}{s})\vec{i}\ ,\ v_۲ = (-۲۲\frac{m}{s})\vec{i}\ ,\ m = ۰/۲۸kg$$

$$\vec{p} = m\vec{v} \Rightarrow \vec{\Delta p} = \vec{p}_۲ - \vec{p}_۱ = m(\vec{v}_۲ - \vec{v}_۱) = ۰/۲۸ \times (-۲۲\vec{i} - ۱۵\vec{i}) = ۰/۲۸(-۳۷\vec{i}) = (-۱۰/۳۶kg\frac{m}{s})\vec{i}$$

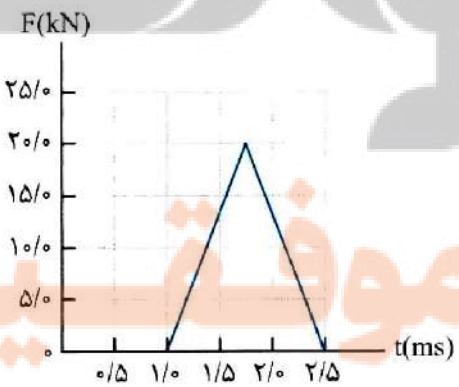
بنابراین اندازهٔ تغییر تکانه برابر است با:

$$\Delta p = ۱۰/۳۶kg\frac{m}{s}$$

ب) اگر مشت بازیکن $۰/۰۶۰s$ با توپ در تماس باشد، اندازهٔ نیروی متوسط وارد بر مشت بازیکن از طرف توپ را به دست آورید.

$$F_{av} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{۱۰/۳۶}{۰/۰۶} = ۱۷۲/۶$$

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



می‌دانیم سطح زیر نمودار نیرو- زمان برابر با تغییر تکانه است، بنابراین:

$$\Delta p = S_{\text{مثلث}} = \frac{(۱/۵ \times ۱۰^{-۳}) \times (۲۰ \times ۱۰^{۳})}{۲} = ۱۵kg\frac{m}{s}$$

برای محاسبهٔ نیروی خالص متوسط وارد بر توپ می‌توان نوشت:

$$F_{av} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{۱۵}{۱/۵ \times ۱۰^{-۳}} = ۱۰^{۴}N = ۱۰kN$$

تلاش نردبان موفقیت

@physicsjeans

۱۸) دو جسم در فاصلهٔ ۲۰/۰m از هم، یکدیگر را با نیروی گرانشی کوچک $۱/۰۰\times۱۰^{-۸}N$ جذب می‌کنند. اگر جرم یکی از اجسام ۵۰/۰kg باشد، جرم جسم دیگر چقدر است؟

$$r=۲۰m\ ,\ F=۱\times۱۰^{-۸}N\ ,\ m_۱=۵۰kg\ ,\ G=۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\frac{N.m^۲}{kg^۲}\ ,\ m_۲=?$$

$$F=G\frac{m_۱m_۲}{r^۲}\Rightarrow m_۲=\frac{Fr^۲}{Gm_۱}=\frac{۱۰^{-۸}\times(۲۰)^۲}{۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\times۵۰}=۱/۲\times۱۰^۳kg$$

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

وزن شخص در ارتفاع h از سطح زمین: $W'=G\frac{mM_e}{(R_e+h)^۲}$

وزن شخص در سطح زمین: $W=G\frac{mM_e}{R_e^۲}$

$$W'=\frac{۱}{۲}W\Rightarrow\frac{GmM_e}{(R_e+h)^۲}=\frac{۱}{۲}\frac{GmM_e}{R_e^۲}\Rightarrow ۲R_e^۲=(R_e+h)^۲\Rightarrow\sqrt{۲}R_e=(R_e+h)$$

$$\Rightarrow h=(\sqrt{۲}-۱)R_e=(\sqrt{۲}-۱)\times۶۴۰۰=۲۶۵۰km$$

ب) اگر جرم ماهواره‌ای ۲۵۰kg باشد، وزن آن در ارتفاع ۳۶۰۰۰ کیلومتری از سطح زمین چقدر خواهد شد؟

($M_e=۵/۹۸\times۱۰^{۲۴}kg$ و $R_e=۶۴۰۰km$)

$$r=R_e+h\Rightarrow r=۶۴۰۰+۳۶۰۰۰=۴۲۴۰۰km=۴/۲۴\times۱۰^۷m$$

$$W=G\frac{mM_e}{r^۲}=۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\times\frac{۲۵۰\times۵/۹۸\times۱۰^{۲۴}}{(۴/۲۴\times۱۰^۷)^۲}=۵۵/۵N$$

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

$M_{ماه}=۷/۳۶\times۱۰^{۲۲}kg$ و $M_{خورشید}=۱/۹۹\times۱۰^{۳۰}kg$

فاصلهٔ زمین تا ماه $=۳/۸۴\times۱۰^۵km$ فاصلهٔ زمین تا خورشید $=۱۴۹/۶\times۱۰^۶km$

با توجه به اینکه نیروی گرانشی وارد بر جسمی به جرم m برابر با وزن جسم ($W=mg$) است. بنابراین شتاب گرانشی ناشی از جرم M و فاصلهٔ r از آن به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$F=mg\Rightarrow G\frac{Mm}{r^۲}=mg\Rightarrow g=\frac{MG}{r^۲}$$

در نتیجه شتاب گرانشی ناشی از خورشید در سطح زمین برابر است با:

$$g_{خورشید}=\frac{M_{خورشید}\times G}{r^۲}=\frac{۱/۹۹\times۱۰^{۳۰}\times۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}}{(۱۴۹/۶\times۱۰^۹)^۲}=۵/۹۳\times۱۰^{-۳}\frac{N}{kg}$$

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

$$g_{ماه}=\frac{M_{ماه}\times G}{r^۲}=\frac{۷/۳۶\times۱۰^{۲۲}\times۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}}{(۳/۸۴\times۱۰^۸)^۲}=۳/۳۳\times۱۰^{-۵}\frac{N}{kg}$$

تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjeanbook

۲۱ الف) سفینه‌ای به جرم $۳/۰۰\times۱۰^{۴}\,kg$ در وسط فاصلهٔ بین زمین و ماه قرار دارد. نیروی گرانشی خالصی را که از طرف زمین و ماه به این سفینه در این مکان وارد می‌شود به دست آورید (از داده‌های مسئله‌های قبل استفاده کنید).

سفینه، ماه و زمین را به صورت ذره در نظر می‌گیریم:

$$r=\frac{۱}{۲}\times۳/۸۴\times۱۰^{۸}=۱/۹۲\times۱۰^{۸}\,m$$

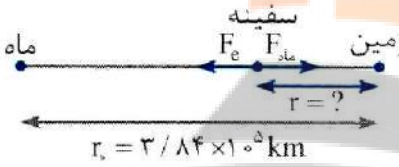
بنابراین با توجه به شکل داریم:

$$\vec{F}_{net}=\vec{F}_e+\vec{F}_{ماه}=F_e-F_{ماه}=G\frac{M_e m}{r^{۲}}-G\frac{M_{ماه} m}{r^{۲}}=G\frac{m}{r^{۲}}(M_e-M_{ماه})$$

$$=۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\times\frac{۳\times۱۰^{۴}}{(۱/۹۲\times۱۰^{۸})^{۲}}(۵/۹۸\times۱۰^{۲۴}-۷/۳۶\times۱۰^{۲۲})=۳۲۰/۶\,N$$

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

برای آنکه این دو نیرو یکدیگر را خنثی کنند، باید مساوی و مختلف‌الجهت باشند.



$$F_{net}=۰\Rightarrow F_{ماه}=F_e\Rightarrow G\frac{mM_e}{r^{۲}}=G\frac{mM_{ماه}}{(r_۰-r)^{۲}}\Rightarrow\left(\frac{r_۰-r}{r}\right)^{۲}=\frac{M_{ماه}}{M_e}\Rightarrow\frac{r_۰-r}{r}=\sqrt{\frac{M_{ماه}}{M_e}}$$

$$\Rightarrow\frac{r_۰-r}{r}=\sqrt{\frac{۷/۳۶\times۱۰^{۲۲}}{۵/۹۸\times۱۰^{۲۴}}}=۰/۱۱۱\Rightarrow۱/۱۱۱r=r_۰\Rightarrow r=\frac{r_۰}{۱/۱۱۱}\xrightarrow{r_۰=۳/۸۴\times۱۰^{۵}\,km}r=۳/۴۶\times۱۰^{۵}\,km$$

ترنج بوک
تلاشی درمسیرموفقیت

پرسش(۳-۱) ..... صفحهٔ ۵۴ کتاب درسی

بسامد ضربان قلب مربوط به نمودار شکل ۳-۲ چقدر است؟

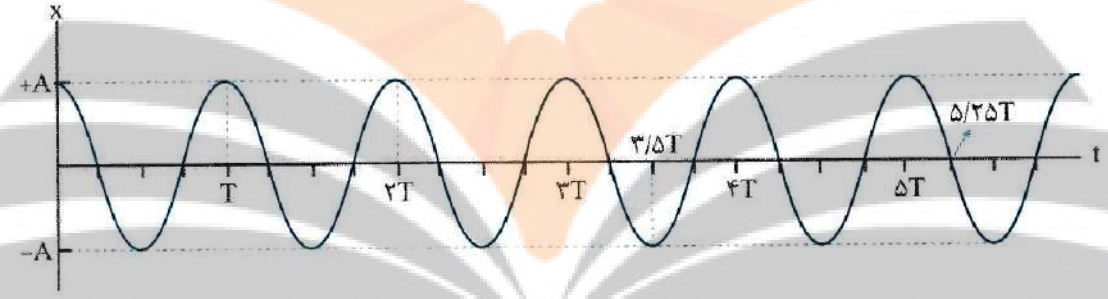
دورهٔ تناوب ضربان قلب $T = ۰/۹۲s$ است؛ بنابراین برای محاسبهٔ فرکانس (بسامد) ضربان قلب می‌توان نوشت:

$$f = \frac{۱}{T} = \frac{۱}{۰/۹۲} = \frac{۱۰۰}{۹۲} = ۱/۰۸Hz$$

تمرین(۳-۱) ..... صفحهٔ ۵۶ کتاب درسی

ذره‌ای در حال نوسان هماهنگ ساده با دورهٔ تناوب T است. با فرض اینکه در $t = ۰s$ ذره در $x = +A$ باشد، تعیین کنید در هر یک از لحظات زیر، آیا ذره در $x = -A$، در $x = +A$، یا در $x = ۰$ خواهد بود؟ الف) $t = ۲/۰۰T$، ب) $t = ۳/۵۰T$، پ) $t = ۵/۲۵T$ (راهنمایی: برای پاسخ به این تمرین، ساده‌تر آن است که چند دوره از این نمودار کسینوسی را رسم کنید.)

روش اول: نمودار مکان-زمان را برای مدت زمان ۶ دوره رسم می‌کنیم:



الف) $t = ۲T \Rightarrow x = A$ ب) $t = ۳/۵T \Rightarrow x = -A$ پ) $t = ۵/۲۵T \Rightarrow x = ۰$

روش دوم: با استفاده از معادلهٔ مکان-زمان در حرکت هماهنگ ساده $(x(t) = A\cos\omega t = A\cos(\frac{۲\pi}{T}t))$ داریم:

الف) $t = ۲T \Rightarrow x(۲T) = A\cos(\frac{۲\pi}{\cancel{T}} \times ۲\cancel{T}) = A\underbrace{\cos ۴\pi}_{۱} = A$

ب) $t = ۳/۵T \Rightarrow x(۳/۵T) = A\cos(\frac{۲\pi}{\cancel{T}} \times ۳/۵\cancel{T}) = A\underbrace{\cos ۷\pi}_{-۱} = -A$

پ) $t = ۵/۲۵T \Rightarrow x(۵/۲۵T) = A\cos(\frac{۲\pi}{\cancel{T}} \times ۵/۲۵\cancel{T}) = A\cos(۱۱/۵\pi) = A\cos ۲۳\frac{\pi}{۲} = ۰$

تمرین(۳-۲) ..... صفحهٔ ۵۶ کتاب درسی

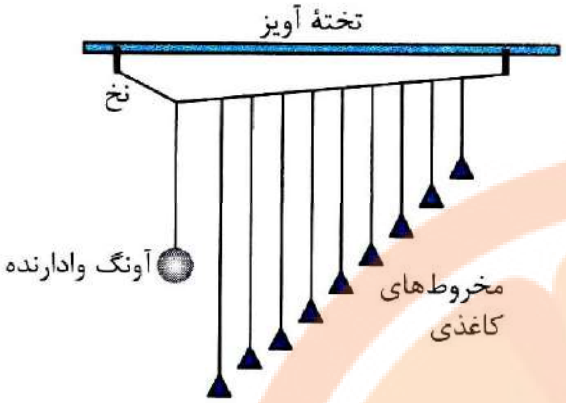
در حرکت هماهنگ ساده، مکان $x(t)$ باید پس از گذشت یک دورهٔ تناوب برابر مقدار اولیه‌اش شود. یعنی اگر $x(t)$ مکان در زمان دلخواه t باشد، آن گاه نوسانگر باید در زمان $t + T$ دوباره به همان مکان بازگردد و بنابراین $A\cos\omega t = A\cos\omega(t+T)$ بر این اساس نشان دهید $\omega = ۲\pi/T$.

$$A\cos\omega t = A\cos\omega(t+T) \Rightarrow A\cos\omega t = A\cos(\omega t + \omega T) \Rightarrow \omega t + \omega T = ۲k\pi + \omega t$$

$$\Rightarrow \omega T = ۲k\pi \xrightarrow{k=۱} \omega = \frac{۲\pi}{T}$$

@physicsbook

فعالیت(۳-۳) ..... **صفحهٔ ۶۰ کتاب درسی**



آونگ‌های بارتون: یک آونگ با وزنهٔ سنگین و تعدادی آونگ سبک با طول‌های متفاوت را مطابق شکل سوار کنید. آونگ‌ها روی نخی سوار شده‌اند که هر دو انتهای آن توسط گیره‌هایی به تختهٔ آویز متصل شده است. به آونگ سنگین اصطلاحاً آونگ وادارنده گفته می‌شود، زیرا به نوسان درآوردن این آونگ در صفحهٔ عمود بر صفحهٔ شکل، موجب تاب خوردن نخ آویز و در نتیجه به نوسان واداشتن سایر آونگ‌ها می‌شود. آونگ وادارنده را به نوسان درآورید و آنچه را مشاهده می‌کنید توضیح دهید.

با انجام این فعالیت مشاهده می‌کنیم که آونگی که با آونگ وادارنده هم طول است با دامنهٔ بسیار بزرگ‌تری نسبت به دیگر آونگ‌ها به نوسان در می‌آید، زیرا بسامد طبیعی این آونگ و آونگ وادارنده با هم برابر است و در نتیجه پدیدهٔ تشدید رخ می‌دهد و با دامنهٔ بیشتری نوسان می‌کند.

تمرین(۳-۳) ..... **صفحهٔ ۶۱ کتاب درسی**

طول تعدادی آونگ ساده که از میله‌ای افقی آویزان‌اند، عبارت‌اند از، ۰/۴۰m ، ۰/۸۰m ، ۱/۲m ، ۲/۸m ، ۳/۵m . فرض کنید میله دستخوش نوسان‌هایی افقی با بسامد زاویه‌ای در گسترهٔ ۲/۰rad/s تا ۴/۰rad/s بشود. کدام آونگ‌ها با دامنهٔ بزرگ‌تری به نوسان در می‌آیند؟ (توجه کنید گرچه تشدید در بسامد مشخصی رخ می‌دهد، اما دامنهٔ نوسان در نزدیک این بسامد همچنان بزرگ است).

می‌دانیم دورهٔ تناوب آونگ ساده با استفاده از رابطهٔ $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ محاسبه می‌شود؛ بنابراین با توجه به رابطهٔ بین دورهٔ تناوب و بسامد زاویه‌ای ($\omega = \frac{2\pi}{T}$)، بسامد زاویه‌ای آونگ ساده برابر با $\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$ خواهد بود. در نتیجه کافی است بسامد زاویه‌ای هر آونگ را با استفاده از رابطهٔ $\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$ به دست آوردیم و با گسترهٔ بسامد زاویه‌ای میله مقایسه کنیم.

$L_1 = 0/4m \Rightarrow \omega_1 = \sqrt{\frac{10}{0/4}} = 5rad/s , \omega_1 > 4rad/s \Rightarrow$ تشدید رخ نمی‌دهد.

$L_2 = 0/8m \Rightarrow \omega_2 = \sqrt{\frac{10}{0/8}} = 3/5rad/s , 2rad/s < \omega_2 < 4rad/s \Rightarrow$ تشدید رخ می‌دهد.

$L_3 = 1/2m \Rightarrow \omega_3 = \sqrt{\frac{10}{1/2}} = 2/89rad/s , 2rad/s < \omega_3 < 4rad/s \Rightarrow$ تشدید رخ می‌دهد.

$L_4 = 2/8m \Rightarrow \omega_4 = \sqrt{\frac{10}{2/8}} = 1/89rad/s , \omega_4 < 2rad/s \Rightarrow$ تشدید رخ نمی‌دهد.

$L_5 = 3/5m \Rightarrow \omega_5 = \sqrt{\frac{10}{3/5}} = 1/69rad/s , \omega_5 < 2rad/s \Rightarrow$ تشدید رخ نمی‌دهد.

بنابراین آونگ‌های با طول ۰/۸m و ۱/۲m با دامنهٔ بزرگ‌تری به نوسان درمی‌آیند.

تلاشی درمسیر موفقیت

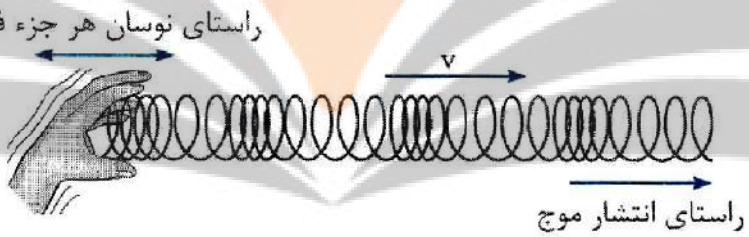
@physicsjoon

پرسش(۳-۲) ..... **صفحهٔ ۶۱ کتاب درسی**

در پی زمین‌لرزهٔ عظیمی (به بزرگی ۸/۱ در مقیاس ریشتر) که در ساحل غربی مکزیک در سال ۱۹۸۵ اتفاق افتاد ساختمان‌های نیمه بلند فرو ریختند، ولی ساختمان‌های کوتاه‌تر و بلندتر پابرجا ماندند. علت این پدیده را توضیح دهید. در هنگام زمین‌لرزه، ساختمان‌ها مانند یک نوسانگر به نوسان در می‌آیند. با توجه به اینکه بسامد طبیعی یک نوسانگر به مشخصات فیزیکی آن از جمله طول نوسانگر (ارتفاع ساختمان) وابسته است؛ پدیدهٔ تشدید برای یک فرکانس مشخص (بسامد امواج زمین‌لرزه) در گسترهٔ مشخصی از طول نوسانگر (ارتفاع ساختمان) رخ می‌دهد. بنابراین در هنگام وقوع زمین‌لرزه، ساختمان‌هایی که ارتفاع آنها خارج از این گستره قرار می‌گیرد، نوسان‌های کم‌دامنه‌ای انجام می‌دهند و از خطر فروریختن در امان می‌مانند.

پرسش(۳-۳) ..... **صفحهٔ ۶۲ کتاب درسی**

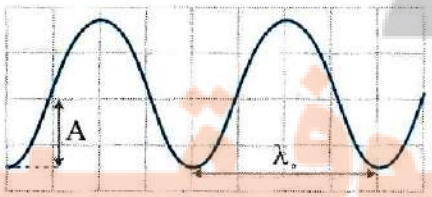
همان‌طور که گفتیم یکی از ویژگی‌های موج پیش‌رونده انتقال انرژی از یک نقطه به نقطهٔ دیگر، در جهت انتشار موج است. با در نظر گرفتن یک تپ طولی در یک فنر بلندِ کشیده شده، این ویژگی را توضیح دهید.

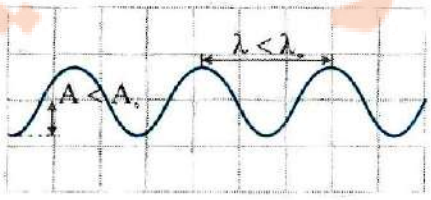


همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، با انتشار و حرکت یک تپ طولی در جهت راست، هر حلقهٔ فنر هم‌راستا با حرکت تپ به چپ و راست نوسان می‌کند طوری که ناحیه‌های جمع‌شدگی و بازشدگی در فنر به وجود می‌آید. با توجه به اینکه تغییر طول فنر (فشرده یا کشیده شدن فنر) باعث ذخیره شدن انرژی پتانسیل کشسانی در فنر می‌شود، با حرکت تپ در طول فنر، این انرژی در طول فنر و در جهت انتشار تپ منتقل می‌شود.

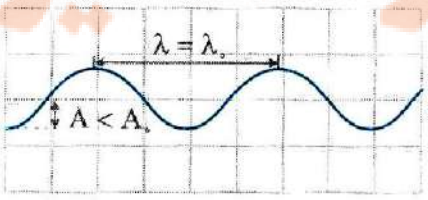
پرسش(۳-۴) ..... **صفحهٔ ۶۵ کتاب درسی**

شکل روبه‌رو موجی عرضی را نشان می‌دهد. دامنه و طول‌موج هر کدام از شکل موج‌های الف)، ب)، و پ) را با دامنه و طول‌موج این شکل مقایسه کنید.

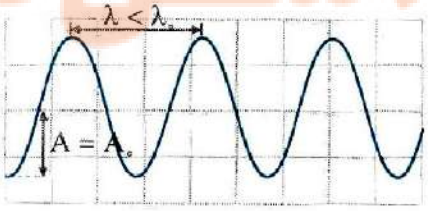




(پ)



(ب)



(الف)

@physicsjeffbook

تمرین(۳-۴) صفحهٔ ۶۶ کتاب درسی

در سازهای زهی همانند تار، کمانچه و گیتار با سفت یا شُل کردن تار، تندی انتشار موج عرضی در تار تغییر می‌کند. در یک گیتار طول هر تار بین دو انتهای ثابت ۰/۶۲۸m است. برای نواختن بالاترین بسامد، جرم تار ۰/۲۰۸g و برای نواختن پایین‌ترین بسامد، جرم تار ۳/۳۲g است. تارها تحت کششی برابر ۲۲۶N قرار دارند. تندی انتشار موج برای ایجاد این دو بسامد چقدر است؟

برای نواختن بالاترین بسامد داریم: $L = ۰/۶۲۸ \times ۱۰^{-۳}\,m\ ,\ m = ۰/۲۰۸ \times ۱۰^{-۳}\,kg\ ,\ F = ۲۲۶N\ ,\ v = ?$

ابتدا چگالی خطی جرم تارها را محاسبه می‌کنیم: $\mu = \frac{m}{L} = \frac{۰/۲۰۸ \times ۱۰^{-۳}}{۰/۶۲۸} = ۳/۳ \times ۱۰^{-۴}\ \frac{kg}{m}$

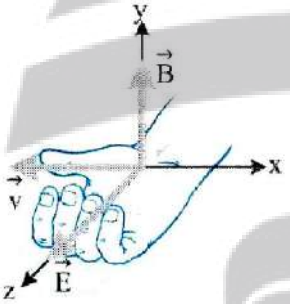
اکنون می‌توان تندی انتشار موج در یک تار را محاسبه نمود: $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{۲۲۶}{۳/۳ \times ۱۰^{-۴}}} = ۸/۲۷ \times ۱۰^{۲}\ \frac{m}{s}$

همچنین برای نواختن پایین‌ترین بسامد داریم: $L = ۰/۶۲۸m\ ,\ m = ۳/۳۲ \times ۱۰^{-۳}\,kg\ ,\ F = ۲۲۶N\ ,\ v = ?$

$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{۳/۳۲ \times ۱۰^{-۳}}{۰/۶۲۸} = ۵/۳ \times ۱۰^{-۴}\ \frac{kg}{m} \qquad v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{۲۲۶}{۵/۳ \times ۱۰^{-۴}}} = ۶/۵۳\ \frac{m}{s}$$

پرسش(۳-۵) صفحهٔ ۶۷ کتاب درسی

در یک لحظهٔ خاص، میدان الکتریکی مربوط به یک موج الکترومغناطیسی در نقطه‌ای از فضا در جهت z+ و میدان مغناطیسی مربوط به آن در جهت y+ است. جهت انتشار در کدام سو است؟ (جهت‌های x+ ، y+ و z+ را مانند شکل ۳-۲۰ در نظر بگیرید.)



طبق قاعدهٔ دست راست برای تعیین جهت انتشار موج الکترومغناطیسی، اگر چهار انگشت دست راست را در جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$ بگیریم به نحوی که جهت خم شدن چهار انگشت دست، جهت میدان مغناطیسی $\vec{B}$ را نشان دهد، آنگاه جهت شست، جهت انتشار موج است. در نتیجه جهت انتشار موج در خلاف جهت محور xهاست.

تمرین(۳-۵) صفحهٔ ۶۸ کتاب درسی

طول آنتن یک گوشی تلفن همراه قدیمی معمولاً $\frac{۱}{۴}$ طول‌موج دریافتی است. اگر طول چنین آنتنی تقریباً برابر ۸/۵cm باشد. بسامدی را که این گوشی با آن کار می‌کند تعیین کنید.

$$L_{\text{آنتن}} = \frac{۱}{۴}\lambda = ۸/۵cm \Rightarrow \lambda = ۸/۵ \times ۴ = ۳۴cm = ۰/۳۴m$$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{۳ \times ۱۰^{۸}}{۰/۳۴} \simeq ۸/۸ \times ۱۰^{۸}\,Hz$$

فعالیت(۳-۴) صفحهٔ ۶۸ کتاب درسی

مطابق شکل روبه‌رو (شکل صفحهٔ ۷۶ کتاب درسی) یک گوشی تلفن همراه را در یک محفظهٔ تخلیهٔ هوای شیشه‌ای آویزان کنید. با برقراری تماس با گوشی، صدای آن را خواهید شنید. ولی با به کار افتادن پمپ تخلیهٔ هوا، صدا به تدریج ضعیف و سرانجام خاموش می‌شود، در حالی که امواج الکترومغناطیسی همچنان به گوشی می‌رسند. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

امواج صوتی برای انتشار نیاز به یک محیط مادی مانند هوا، سطح مایعات یا جامدات دارند به همین علت با از بین رفتن محیط مادی منتشر نمی‌شوند. اما امواج الکترومغناطیسی برای انتشار نیازی به محیط مادی ندارند.

@physicsjeffbod

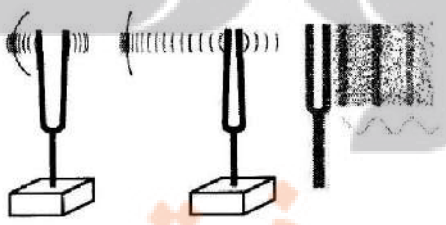
فعالیت(۳-۵) ..... صفحهٔ ۶۹ کتاب درسی

در مورد نواحی اصلی طیف امواج الکترومغناطیسی، چگونگی تولید و کاربردهای آنها تحقیق کنید.

نام و حدود طول‌موج	روش تولید	کاربرد
پرتو گاما (γ) ۱pm	تشعشعات هستهٔ مواد رادیواکتیو و واپاشی هسته‌ای	از بین بردن بافت‌های سرطانی، پیداکردن ترک در فلزات، ضدعفونی کردن تجهیزات و وسایل
پرتو ایکس (X) ۱۰۰pm	بمباران هدفی فلزی توسط باریکه‌ای از الکترون‌های سریع	استفاده در پرتو نگاری، استفاده در مطالعهٔ ساختار بلورها، معالجهٔ بیماری‌های پوستی، استفاده در پرتو درمانی
پرتو فرابنفش (uv) ۱۰nm	عبور دادن جریان الکتریکی از کمی جیوهٔ تبخیرشده یا سایر گازهای مشابه	لامپ‌های uv در پزشکی
نور مرئی ۳۸۰nm – ۷۵۰nm	یونیزه شدن ماده به شیوهٔ قوس یا تخلیهٔ الکتریکی تشعشعات اجسام داغ	استفاده در سیستم‌های مخابراتی (لیزر و تارهای نوری)
فروسرخ ۱۰۰μm	گرم کردن اجسام	برای گرم کردن، فیلم‌برداری و عکاسی در مه و تاریکی، عکاسی IR توسط ماهواره‌ها
رادیویی ۱m – 10^8 m	استفاده از مدارهای الکتریکی	در آشپزی، رادیو، تلویزیون، مخابرات ماهواره‌ای و در رادارها برای آشکارسازی هواپیما، موشک و کشتی

پرسش(۳-۶) ..... صفحهٔ ۷۱ کتاب درسی

الف) چگونگی ایجاد صوت توسط دیاپازون را توضیح دهید.



دیاپازون وسیله‌ای فلزی دارای دو شاخه است که انتهای آنها به یک پایهٔ مشترک وصل شده است. وارد شدن ضربه به یکی از شاخه‌ها، باعث ارزش شاخه‌ها در خلاف جهت هم می‌شود. با لرزش شاخه‌ها مولکول‌های هوای اطراف شاخه‌ها نیز به حرکت واداشته می‌شوند و با ارتعاشات خود موجب تولید صدا می‌شوند.

ب) به نظر شما چه ساز و کاری موجب صدای وزوزِ حشرات هنگام پرواز می‌شود؟

بال زدن حشرات باعث ایجاد آشفتگی در هوا و تولید موج صوتی می‌شود. صدای وزوز ایجادشده به علت سرعت زیاد بال زدن آنهاست که باعث ایجاد صوت با فرکانس نسبتاً زیاد می‌شود. مثلاً مگس در هر ثانیه ۳۵۰ بار، زنبور عسل ۴۵۰ بار و پشه ۶۰۰ بار بال می‌زنند.

@physicsjeffbod

تمرین(۳-۶) صفحهٔ ۷۲ کتاب درسی

شخصی با چکّش به انتهای یک میلهٔ باریک بلندی ضربه‌ای می‌زند. تندی صوت در این میله ۱۵ برابر تندی صوت در هوا است. شخص دیگری که گوش خود را نزدیک به انتهای دیگر میله گذاشته است، دو صدا را که یکی از میله می‌آید و دیگری از هوای اطراف میله، با اختلاف زمانی ۰/۱۲s می‌شنود. اگر تندی صوت در هوا ۳۴۰m/s باشد، طول میله چقدر است؟

$v_۲ = ۱۵v_۱ = ۱۵ \times ۳۴۰ = ۵۱۰۰\frac{m}{s}$:تندی صوت در میله

$v_۱ = ۳۴۰\frac{m}{s}$:تندی صوت در هوا

$t_۲ = t_۱ - ۰/۱۲$:مدت زمان عبور صوت از داخل میله

$t_۱$:مدت زمان عبور صوت از روی میله

با توجه به اینکه هر دو موج طول میله (L) را طی می‌کنند، داریم:

$$L = vt \Rightarrow v_۱t_۱ = v_۲t_۲ \Rightarrow \cancel{v_۱}t_۱ = ۱۵\cancel{v_۱}(t_۱ - ۰/۱۲) \Rightarrow t_۱ = ۱۵t_۱ - ۱/۸ \Rightarrow t_۱ = \frac{۹}{۷۰}s$$

حالا برای محاسبهٔ طول میله کافی است مدت زمان عبور صوت از میله را در سرعت صوت در هوا ضرب کنیم.

$$L = v_۱t_۱ = ۳۴۰ \times \frac{۹}{۷۰} = ۴۳/۷m$$

تمرین(۳-۷) صفحهٔ ۷۳ کتاب درسی

با زیاد کردن صدای تلویزیونی، شدت صوتی که به گوش ما می‌رسد ۱۰۰ برابر می‌شود. تراز شدت صوتی که می‌شنویم چند دسی‌بل افزایش یافته است؟

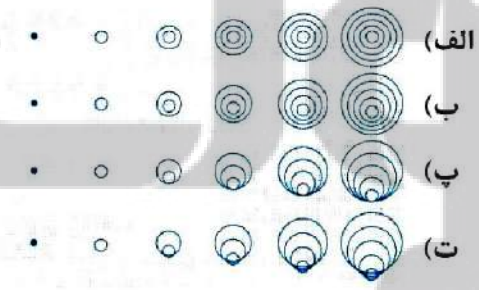
$I_۲ = ۱۰۰I_۱$

$$\beta = (۱۰dB)\log(\frac{I}{I_۰}) \Rightarrow \beta_۲ - \beta_۱ = (۱۰dB)(\log(\frac{I_۱}{I_۰}) - \log(\frac{I_۲}{I_۱})) = (۱۰dB)\log\frac{۱۰۰\cancel{I_۱}}{\cancel{I_۱}} = (۱۰dB)\log ۱۰^۲ = ۲۰dB$$

$\Rightarrow \beta_۲ = \beta_۱ + ۲۰ \Rightarrow$ تراز شدت صورت، ۲۰dB افزایش می‌یابد.

پرسش(۳-۷) صفحهٔ ۷۵ کتاب درسی

در هر ردیف شکل روبه‌رو، جبهه‌های موج متوالی حاصل از یک چشمه را می‌بینید.



الف) تندی چشمه‌ها را با هم مقایسه کنید.

در ردیف الف، فاصلهٔ بین جبهه‌های موج در تمام جهات با هم برابر است، بنابراین چشمه ساکن است. در ردیف‌های ب، پ و ت، تجمع جبهه‌های موج در قسمت پایین چشمه بیشتر از قسمت بالای چشمه است بنابراین هر سه چشمه به سمت پایین حرکت می‌کنند. هنگام حرکت یک چشمهٔ تولید موج هر چه تندی حرکت چشمه بیشتر باشد، فاصلهٔ بین جبهه‌های موج در پشت چشمه (خلاف جهت حرکت) بیشتر می‌شود. بنابراین تندی چشمه‌ها به این صورت است: $v_{الف} = ۰ < v_ب < v_پ < v_ت$

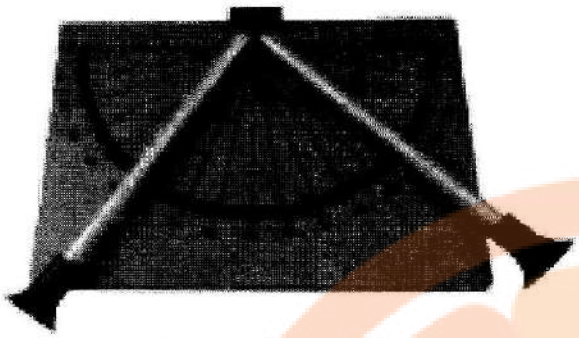
ب) تندی هر چشمه را با تندی صوت مقایسه کنید.

بنابراین اگر تندی چشمه و صوت برابر باشند، چشمه روی جبهه‌های موج حرکت می‌کند و شکل جبهه‌های موج به صورت دایره‌های مماس خواهند بود. اگر تندی چشمه بیشتر از صوت باشد، چشمه از جبهه‌های موج جلو می‌افتد و اگر تندی چشمه از تندی موج کمتر باشد چشمه از جبهه‌های موج عقب می‌افتد در نتیجه: $v_ب < v_پ = v_{صوت} < v_ت$

@physiesjeffbodi

فعالیت (۳-۷) ..... **صفحهٔ ۷۸ کتاب درسی**

با اسباب نشان‌داده‌شده در شکل روبه‌رو، می‌توان زاویهٔ تابش و زاویهٔ بازتابش را در امواج صوتی اندازه‌گیری کرد. با استفاده از این اسباب، قانون بازتاب عمومی را برای امواج صوتی تحقیق کنید.



نمایشی از اسباب آزمایش بازتاب صوت

این دستگاه شامل دو لوله متصل به دو دهانه است که یکی نقش ورودی صدا و دیگری نقش خروجی صوت یا گوشی را ایفا می‌کند. با تولید به صدا در دهانهٔ ورودی، صوت از لوله عبور کرده و پس از بازتاب از دیواره، از لوله دوم منعکس می‌شود و با عبور از لولهٔ دوم وارد دهانهٔ گوشی شده و شنیده می‌شود. برای جلوگیری از انتشار صوت به‌طور مستقیم از منبع به شنونده می‌توان مانعی روی گیره‌ها نصب نمود. اگر لولهٔ دوم را به دوران در بیاوریم متوجه می‌شویم در زاویهٔ معینی صوت شنیده‌شده از گوشی بیشترین بلندی را دارد. با ثابت نمودن مکان لولهٔ دوم در این حالت و بررسی زاویهٔ لولهٔ ورودی و خروجی با خط عمود بر سطح مانع مشخص می‌شود که در این حالت زاویهٔ تابش و بازتابش با هم برابر هستند.

فعالیت (۳-۸) ..... **صفحهٔ ۷۸ کتاب درسی**

دربارهٔ میکروفون سهموی که از آن برای ثبت صداهای ضعیف و دستگاه لیتوتریپسی که از آن برای شکستن سنگ‌های کلیه، با کمک بازتابنده‌های بیضوی استفاده می‌شود تحقیق کنید.

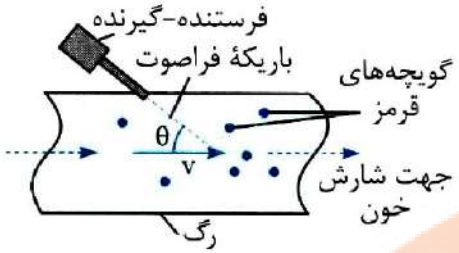
یکی از ویژگی‌های مهم سطوح سهموی این است که اگر یک چشمهٔ موج (مکانیکی یا الکترومغناطیسی) در کانون آن قرار داشته باشد، امواج تولیدشده پس از بازتاب از سطح داخلی سهمی به صورت موازی با هم در فضا منتشر می‌شوند. همچنین اگر امواج به صورت موازی به سطح داخلی سهمی برخورد کنند، در کانون سهمی متمرکز می‌شوند. بر این اساس می‌توان برای دریافت امواجی که چشمهٔ تولید آنها در فاصلهٔ دوری قرار دارد و امواج تولیدشده توسط آنها تقریباً به صورت موازی با هم منتشر می‌شوند و همچنین امواجی که شدت آنها کم است از بازتابنده‌های سهموی استفاده کرد. در این بازتابنده‌ها، گیرندهٔ موج را در کانون سهمی قرار می‌دهند تا شدت موجی که به آن می‌رسد تقویت شود. نوعی از این بازتابنده‌ها که در صدابرداری‌های خاص از آن استفاده می‌شود میکروفون سهموی است. این نوع میکروفون معمولاً برای ضبط صدای طبیعت، صدای میدان برای گزارشات ورزشی، استراق صمع، جاسوسی و... استفاده می‌شود.

نوع دیگری از بازتاب‌دهنده‌ها، بازتاب‌دهنده‌های بیضوی هستند که بر اساس ویژگی‌های بازتابی سطوح بیضوی می‌توانند امواجی را که در یکی از کانون‌های بیضوی تولید شده‌اند، در کانون دیگر بیضی متمرکز کنند. از این بازتاب‌دهنده‌ها در درمان سنگ کلیه توسط تکنولوژی ESWH به عنوان روش سنگ شکنی برون اندامی مؤثر و نسبتاً بی‌خطر استفاده می‌شود. در دستگاه لیتوتریپسی امواج شوک توسط منبع انرژی به سه طریق مختلف انرژی الکتروهیدرولیک، پیزوالکتریک یا الکترومغناطیسی تولید می‌شوند. امواج شوک تولیدی در نقطهٔ کانون اول بازتابندهٔ بیضوی در خارج از بدن ایجاد می‌شوند و سپس به کانون دوم بیضی که در داخل بدن بیمار است و بر روی سنگ کلیه تنظیم شده است هدایت می‌شوند. موج شوک در این ناحیهٔ کانونی متمرکز شده، بر سطح سنگ ضربه زده و آن را می‌شکاند.

@physicsjeh

فعالیت (۳-۹) صفحهٔ ۷۹ کتاب درسی

اندازه‌گیری تندی شارش خون: از مکان‌یابی پژواکی به همراه اثر دوپلر می‌توان برای تعیین تندی شارش خون (گویچه‌های قرمز) در رگ‌ها استفاده کرد. در مورد چگونگی این فنّاوری تحقیق کنید.



در اندازه‌گیری تندی شارش خون به روش دوپلر، ابتدا یک سیگنال فراصوت به داخل خون فرستاده می‌شود. این سیگنال به وسیلهٔ گویچه‌های قرمز که در خون حرکت دارند، بازتابیده می‌شود و پژواک این سیگنال توسط گیرنده دریافت می‌شود. بسته به اینکه تندی حرکت گویچه‌های قرمز چه مقدار باشد، بسامد سیگنال دریافتی با سیگنال ارسالی اندکی تفاوت خواهد داشت. با مقایسهٔ بسامد این دو موج می‌توان تندی حرکت گویچه‌های قرمز خون و در نتیجه تندی شارش خون را در رگ‌ها به دست آورد.

تمرین (۳-۸) صفحهٔ ۷۹ کتاب درسی

کمترین فاصلهٔ بین شما و یک دیوار بلند چقدر باشد تا پژواک صدای خود را از صدای اصلی تمیز دهید؟ تندی صوت در هوا را $۳۴۰\frac{m}{s}$ در نظر بگیرید.

اگر تأخیر زمانی بین صوت و پژواک آن بیشتر از $۰/۱s$ باشد شنونده می‌تواند پژواک را از صوت مستقیم تشخیص دهد. بنابراین حداقل زمان لازم برای رفت و برگشت صوت باید $۰/۱s$ باشد. اگر فاصلهٔ شخص با دیوار را برابر x و زمان لازم جهت رسیدن صوت به دیوار را t بنامیم به‌ازای $۲t = ۰/۱s$ (زمان رفت و برگشت)، خواهیم داشت:

$$۲x = v(۲t) \Rightarrow ۲x = (۳۴۰)(۰/۱) \Rightarrow x = ۱۷m$$

فعالیت (۳-۱۰) صفحهٔ ۸۰ کتاب درسی

رادار دوپلری: از امواج الکترومغناطیسی نیز می‌توان برای مکان‌یابی پژواکی استفاده کرد. در این مورد و کاربرد آن به‌خصوص در تعیین تندی خودروها تحقیق کنید.

حسن استفاده از امواج الکترومغناطیسی آن است که این امواج جهت انتشار به محیط مادی نیاز ندارند و برخلاف امواج صوتی که اثر کلی آنها به حرکت منبع، ماده و ناظر بستگی دارد، در امواج الکترومغناطیسی تنها تفاوت سرعت بین ناظر و منبع حایز اهمیت است.

رادارها سیستم‌هایی هستند که از فرستنده‌ها برای تولید امواج الکترومغناطیسی از جمله امواج مایکروویو یا رادیویی استفاده می‌کنند.

رادار دوپلری وسیله‌ای است که با استفاده از اثر دوپلر سرعت اجسام در فواصل دور را مشخص می‌کند. در واقع رادار با ارسال سیگنال‌های رادیویی به سمت هدف موردنظر و دریافت انعکاس آن این کار را انجام می‌دهد. رادار دوپلری تغییرات فرکانس سیگنال منعکس‌کننده را نسبت به سیگنال اصلی آنالیز می‌کند و به این ترتیب اندازهٔ دقیق تندی متحرک مورد نظر را نسبت به منبع رادار مشخص می‌کند.

@physicsjeffbook

پرسش(۳-۸) صفحهٔ ۸۲ کتاب درسی

اگر موج سینوسی از قسمت ضخیم طناب به قسمت نازک آن وارد شود، بسامد، تندی، و طول‌موجِ موجِ عبوری در مقایسه با موج فرودی چه تغییری می‌کند؟ بسامد موج از ویژگی‌های چشمه تولید موج است و به محیط انتشار آن وابسته نیست در نتیجه بسامد تغییری نمی‌کند. اما هنگام عبور موج از قسمت ضخیم به بخش نازک طناب، جرم واحد طول طناب کاهش می‌یابد پس با توجه به رابطهٔ $v=\sqrt{\frac{F}{\mu}}$، تندی موج عبوری افزایش می‌یابد. بنابراین با ثابت ماندن بسامد، طبق رابطهٔ $\lambda=\frac{v}{f}$ طول‌موج نیز افزایش خواهد یافت.

تمرین(۳-۹) صفحهٔ ۸۳ کتاب درسی

در یک تشت موج به کمک یک نوسان‌ساز تیغه‌ای که با بسامد ۵/۰Hz کار می‌کند، امواجی تخت ایجاد می‌کنیم، به طوری که فاصلهٔ بین دو برآمدگی متوالی آن برابر با ۱۰cm می‌شود. اگر اکنون بُره‌ای شیشه‌ای را در کف تشت قرار دهیم، امواج در ورود به ناحیهٔ کم‌عمق بالای بُره، شکست پیدا می‌کنند. اگر تندی امواج در ناحیهٔ کم عمق، ۰/۴۰ برابر تندی در ناحیهٔ عمیق باشد، طول‌موج امواج در ناحیهٔ کم عمق چقدر می‌شود؟

فاصلهٔ بین دو برآمدگی متوالی برابر طول‌موج است، بنابراین در ابتدا طول‌موج برابر ۱۰cm است $(\lambda=10cm)$. بنابراین برای محاسبهٔ تندی موج داریم:

$$\lambda=\frac{v}{f}\Rightarrow v=\lambda f=0/1\times 5=0/5\frac{m}{s}$$

با قرارگیری برهٔ شیشه‌ای، از عمق آب کاسته شده و تندی امواج، ۰/۴ برابر می‌شود. در نتیجه تندی نهایی و طول‌موج برابر است با:

$$v'=0/4v=0/4\times 0/5=0/2\frac{m}{s}$$

$$\lambda'=\frac{v'}{f}=\frac{0/2}{5}=0/04m=4cm$$

تمرین(۳-۱۰) صفحهٔ ۸۴ کتاب درسی

در تمرین ۳-۹ با فرض اینکه زاویهٔ تابش امواج برابر ۳۰° باشد، زاویهٔ شکست چقدر می‌شود؟

$$v_2=0/4v_1\ ,\ \theta_1=30^\circ\ ,\ \theta_2=?$$

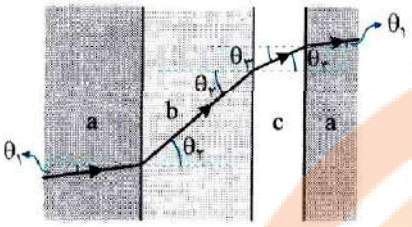
با استفاده از قانون شکست عمومی خواهیم داشت:

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}=\frac{v_2}{v_1}\Rightarrow\frac{\sin\theta_2}{\sin 30^\circ}=\frac{0/4v_1}{v_1}\Rightarrow\sin\theta_2=(\frac{1}{2})(0/4)=0/2\Rightarrow\theta_2=11/53^\circ$$

@physicsjeffbook

پرسش(۳-۹) صفحهٔ ۸۴ کتاب درسی

شکل روبه‌رو یک پرتوی موج الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد که با عبور از محیط اولیهٔ a، از طریق محیط‌های b و c به محیط a بازمی‌گردد. این محیط‌ها را بر حسب تندی موج در آنها از بیشترین تا کمترین مرتب کنید.

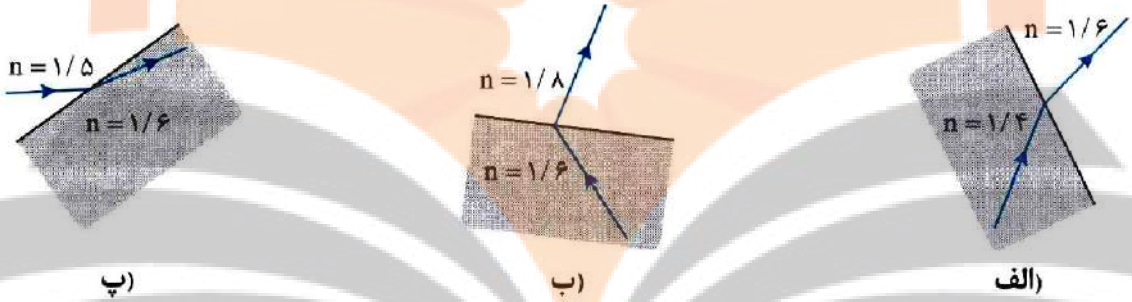


هر چه پرتوی موج به خط عمود بر مرز جدایی دو محیط نزدیک‌تر باشد، تندی موج در آن محیط کمتر است و برعکس، هر چه پرتوی موج از خط عمود بر مرز جدایی دو محیط دورتر باشد، تندی موج در آن محیط بیشتر است. بنابراین با رسم خط عمود بر مرز جدایی دو محیط در نقطهٔ ورود موج و مقایسهٔ زاویهٔ ورودی و خروجی خواهیم داشت:

$$\theta_۲ > \theta_۳ > \theta_۱ \Rightarrow v_b > v_c > v_a$$

پرسش(۳-۱۰) صفحهٔ ۸۶ کتاب درسی

کدام‌یک از سه شکل زیر یک شکست را نشان می‌دهد که از لحاظ فیزیکی ممکن است؟



(پ) (ب) (الف)

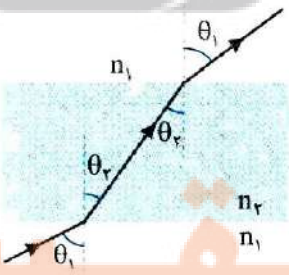
در شکل (الف) ضریب‌شکست محیط دوم بیشتر از محیط اول است (۱/۶ > ۱/۴) پس زاویهٔ تابش باید بزرگ‌تر از زاویهٔ شکست باشد و پرتوی نور به خط عمود نزدیک شود. بنابراین این اتفاق ممکن است.

در شکل (ب) پرتوی شکست و پرتوی تابش هر دو در یک طرف خط عمود هستند و از لحاظ فیزیکی امکان‌پذیر نیست.

در شکل (پ) ضریب‌شکست محیط دوم بیشتر است (۱/۶ > ۱/۵) بنابراین زاویهٔ شکست باید کوچک‌تر از زاویهٔ تابش باشد اما در شکل پرتوی شکست از خط عمود دور شده است که از لحاظ فیزیکی ناممکن است.

فعالیت (۳-۱۱) صفحهٔ ۸۶ کتاب درسی

اندازه‌گیری ضریب‌شکست: با توجه به مثال ۴-۲، آزمایشی را طراحی و اجرا کنید که به کمک آن بتوان ضریب‌شکست یک تیغهٔ متوازی‌السطوح شفاف را اندازه گرفت. تیغهٔ متوازی‌السطوح را روی کاغذی قرار می‌دهیم، و با رسم اضلاع تیغه، مکان آن را روی کاغذ مشخص می‌کنیم. باریکهٔ نوری را به‌طور مایل به وجه بلندتر تیغه می‌تابانیم به طوری که از وجه روبه‌رو خارج شود. مسیر باریکهٔ نور فرودی و خروجی را نیز روی کاغذ رسم می‌کنیم. سپس تیغه را بر می‌داریم و به کمک خط‌کش مسیر پرتوی نور در داخل تیغه را رسم می‌کنیم و با رسم خط عمود بر وجه‌های مقابل تیغه در محل ورود و خروج پرتوی نور، زاویهٔ شکست را اندازه می‌گیریم. اکنون با کمک قانون شکست اسنل می‌توان ضریب‌شکست تیغه را محاسبه نمود.

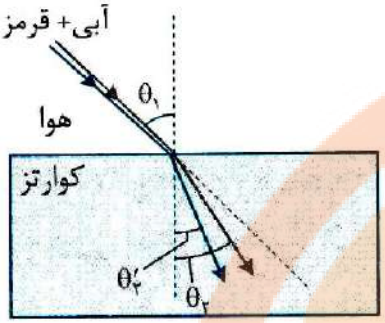


$$n_۱ \sin\theta_۱ = n_۲ \sin\theta_۲ \Rightarrow ۱ \times \sin\theta_۱ = n_۲ \sin\theta_۲ \Rightarrow n_۲ = \frac{\sin\theta_۱}{\sin\theta_۲}$$

@physicsjeffbod

تمرین (۳-۱۱) ..... صفحهٔ ۸۸ کتاب درسی

شکل روبه‌رو باریکهٔ نوری متشکل از دو پرتوی قرمز و آبی را نشان می‌دهد که از هوا و با زاویهٔ تابش 45° بر سطح تیغهٔ تختی از کوارتز می‌تابد. زاویه‌های شکست برای این دو پرتو را محاسبه کنید. ضریب‌شکست نورهای قرمز و آبی در کوارتز به ترتیب برابرند با $n_{\text{قرمز}} = 1/459$ و $n_{\text{آبی}} = 1/467$.



$$\theta_1 = 45^\circ \ , \ n_{\text{هوا}} = 1 \ , \ \theta_2 = ? \ , \ \theta'_2 = ?$$

با استفاده از قانون شکست اسنل برای پرتوی نور قرمز داریم:

$$n_{\text{هوا}} \sin\theta_1 = n_{\text{قرمز}} \sin\theta_2 \Rightarrow 1 \times \sin 45^\circ = 1/459 \times \sin\theta_2$$

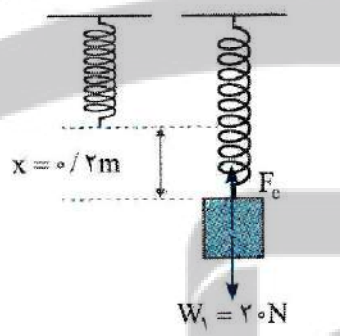
$$\Rightarrow \sin\theta_2 = 0/485 \Rightarrow \theta_2 = 28/99^\circ$$

همچنین برای پرتو آبی می‌توان نوشت:

$$n_{\text{هوا}} \sin\theta_1 = n_{\text{آبی}} \sin\theta'_2 \Rightarrow 1 \times \sin 45^\circ = 1/467 \times \sin\theta'_2 \Rightarrow \sin\theta'_2 = 0/482 \Rightarrow \theta_2 = 28/82^\circ$$

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل (۳) ..... صفحهٔ ۸۹ تا ۹۴ کتاب درسی

(۱) یک وزنهٔ ۲۰N را از انتهای یک فنر قائم می‌آویزیم، فنر ۲۰cm کشیده می‌شود. سپس این فنر را در حالی که به یک وزنهٔ ۵/۰N متصل است روی میز بدون اصطکاکی به نوسان درمی‌آوریم. دورهٔ تناوب این نوسان چقدر است؟



$$W_1 = 20N \ , \ W_2 = 5N \ , \ x = 20cm = 0/2m \ , \ T = ?$$

وقتی فنر قائمه است با استفاده از قانون دوم نیوتون داریم:

$$F_e - W = ma = 0 \Rightarrow kx = W \Rightarrow k \times 0/2 = 20 \Rightarrow k = 100\frac{N}{m}$$

حال با مشخص‌شدن ثابت فنر می‌توانیم دورهٔ تناوب نوسان فنر را محاسبه کنیم:

$$W_2 = mg = 5 \Rightarrow m = \frac{5}{10} = 0/5kg$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{0/5}{100}} = \frac{\pi\sqrt{2}}{10}s$$

(۲) هرگاه جسمی به جرم m فنری متصل شود و به نوسان درآید، با دورهٔ تناوب ۲/۰s نوسان می‌کند. اگر جرم این جسم ۲/۰kg افزایش یابد، دورهٔ تناوب ۳/۰s می‌شود. مقدار m چقدر است؟

$$m_1 = m \ , \ m_2 = m + 2 \ , \ T_1 = 2s \ , \ T_2 = 3s \ , \ m = ?$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \frac{\sqrt{\frac{m_1}{k}}}{\sqrt{\frac{m_2}{k}}} = \frac{\sqrt{m_1}}{\sqrt{m_2}} \Rightarrow \frac{2}{3} = \sqrt{\frac{m}{m+2}} \Rightarrow \frac{4}{9} = \frac{m}{m+2} \Rightarrow 4m + 8 = 9m \Rightarrow 8 = 5m$$

$$\Rightarrow m = \frac{8}{5} = 1/6kg$$

تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjeroom

۳) جرم خودرویی همراه با سرنشینان آن ۱۶۰۰kg است. این خودرو روی چهار فنر با ثابت $۲/۰۰\times۱۰^{۴}\,N/m$ سوار شده است. دورهٔ تناوب، بسامد، و بسامد زاویه‌ای ارتعاش خودرو وقتی از چاله‌ای می‌گذرد چقدر است؟ فرض کنید وزن خودرو به طور یکنواخت روی فنرهای چهارچرخ توزیع شده است.

$$m=۱۶۰۰kg\ ,\ k=۲\times۱۰^{۴}\frac{N}{m}\ ,\ T=?\ ,\ f=?\ ,\ \omega=?$$

چون وزن به طور یکنواخت روی فنرهای چهارچرخ توزیع شده است، جرم معادل متصل به هر فنر را $\frac{۱}{۴}$ جرم خودرو و سرنشینانش در نظر می‌گیریم و برای یکی از فنرها دورهٔ تناوب، بسامد و بسامد زاویه‌ای را محاسبه می‌کنیم:

$$m'=\frac{۱}{۴}m=\frac{۱}{۴}\times۱۶۰۰=۴۰۰kg$$

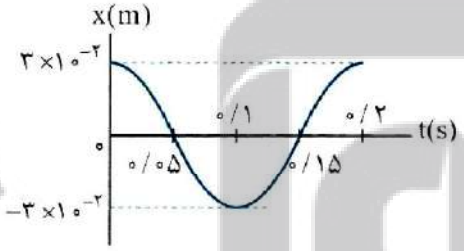
$$T=۲\pi\sqrt{\frac{m}{k}}=\pi\sqrt{\frac{۴۰۰}{۲\times۱۰^{۴}}}=۲\pi\times\frac{\sqrt{۲}}{۱۰}=\frac{\pi\sqrt{۲}}{۵}s\ (=۰/۸۸۸s)$$

$$f=\frac{۱}{T}=\frac{۱}{\frac{\pi\sqrt{۲}}{۵}}=\frac{۵\sqrt{۲}}{۲\pi}Hz\ (=۱/۱۲۵Hz)$$

$$\omega=\frac{۲\pi}{T}=\frac{۲\pi}{\frac{\pi\sqrt{۲}}{۵}}=۵\sqrt{۲}\frac{rad}{s}\ (=۷/۰۷\frac{rad}{s})$$

۴) دامنهٔ نوسان یک حرکت هماهنگ ساده $۳/۰\times۱۰^{-۲}m$ و بسامد آن ۵/۰Hz هرتز است. معادلهٔ حرکت این نوسانگر را بنویسید و نمودار مکان-زمان آن را در یک دوره رسم کنید.

$$A=۳\times۱۰^{-۲}\,m\ ,\ f=۵Hz\ ,\ x(t)=?$$

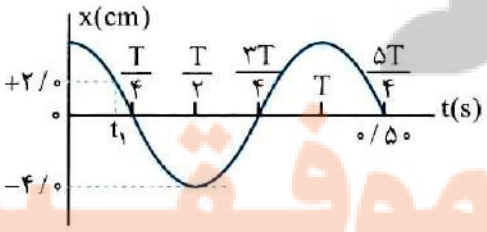


$$\omega=۲\pi f=۲\pi\times۵=۱۰\pi$$

$$x(t)=A\cos\omega t=۳\times۱۰^{-۲}\cos۱۰\pi t$$

$$T=\frac{۱}{f}=۰/۲s$$

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



الف) معادلهٔ حرکت این نوسانگر را بنویسید.

با توجه به شکل داریم:

$$\left.\begin{array}{l}\frac{۵T}{۴}=۰/۵\Rightarrow T=۰/۴s\xrightarrow{\omega=\frac{۲\pi}{T}}\omega=\frac{۲\pi}{۰/۴}=۵\pi\frac{rad}{s}\\ A=۴cm=۴\times۱۰^{-۲}m\end{array}\right\}\Rightarrow x(t)=A\cos\omega t=۴\times۱۰^{-۲}\cos۵\pi t$$

@physicsjeffbod

ب) مقدار t_1 را به دست آورید.

مکان نوسانگر در لحظهٔ t_1 برابر $2cm$ است؛ بنابراین: $t = t_1 \Rightarrow x = 2\times10^{-2}\,m$

$$x(t_1) = 2\times10^{-2} \Rightarrow 4\times10^{-2}\cos 5\pi t_1 = 2\times10^{-2} \Rightarrow \cos 5\pi t_1 = \frac{1}{2} \Rightarrow 5\pi t_1 = \frac{\pi}{3} \Rightarrow t_1 = \frac{1}{15}s$$

پ) اندازهٔ شتاب نوسانگر را در لحظهٔ t_1 محاسبه کنید.

نیروی وارد بر جرم m در یک سامانهٔ جرم-فنر که ثابت فنر آن k باشد برابر است با:

$$F_e = ma \Rightarrow kx = ma \Rightarrow a = \frac{k}{m}x$$

بنابراین با توجه به رابطهٔ بسامد زاویه‌ای در سامانهٔ جرم-فنر $(\omega = \sqrt{\frac{k}{m}})$، داریم: $a = \omega^2 x$

می‌توان نشان داد اندازهٔ شتاب در هر نوسانگر هماهنگ ساده‌ای از رابطهٔ بالا به دست می‌آید؛ بنابراین برای نوسانگر فوق داریم:

در لحظهٔ t_1: $a = \omega^2 x = (5\pi)^2 \times 2\times10^{-2} = 50\pi^2\times10^{-2} = \pi^2\,\frac{m}{s}$

۶) دامنهٔ نوسان وزنه‌ای که به یک فنر با ثابت فنر $74N/m$ متصل است و در راستای افقی نوسان می‌کند، برابر با $8/0cm$ است. اگر انرژی پتانسیل این نوسانگر در نقطه‌ای از مسیر نوسان، $8/0\times10^{-2}J$ باشد، انرژی جنبشی آن در این مکان چقدر است؟ (از نیروهای اتلافی چشم‌پوشی شود.)

$$k = 74\frac{N}{m},\ A = 8cm = 8\times10^{-2}m,\ U = 8\times10^{-2}J,\ K = ?$$

$$E = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}\times74\times(8\times10^{-2})^2 = 2/368\times10^{-1}J = 23/68\times10^{-2}J$$

$$E = K + U \Rightarrow 23/68\times10^{-2} = K + 8\times10^{-2} \Rightarrow K = 2\times3/68\times10^{-2} - 8\times10^{-2} = 15/6\times10^{-2}J$$

۷) جسمی به جرم $1/0kg$ به فنری افقی با ثابت $6/0N/cm$ متصل است. فنر به اندازهٔ $9/0cm$ فشرده و سپس رها می‌شود و جسم روی سطح افقی شروع به نوسان می‌کند. با چشم پوشی از اصطکاک

الف) دامنهٔ نوسان و تندی بیشینهٔ جسم چقدر است؟ $m = 1kg,\ k = 6\frac{N}{cm} = 6\times10^2\frac{N}{m},\ A = ?,\ v_{max} = ?$

با توجه به اینکه فنر در ابتدا $9cm$ فشرده شده و سپس بدون سرعت اولیه رها می‌شود، بنابراین دامنهٔ نوسان برابر با $9cm$ است. جسم در نقطهٔ تعادل، بیشترین سرعت را دارد یعنی زمانی که انرژی پتانسیل کشسانی برابر صفر است و انرژی مکانیکی با انرژی جنبشی برابر است؛ بنابراین:

$$E = K_{max} \Rightarrow \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mv_{max}^2 \Rightarrow v_{max}^2 = \frac{k}{m}A^2 \Rightarrow v_{max} = A\sqrt{\frac{k}{m}} = 9\times10^{-2}\times\sqrt{\frac{6\times10^2}{1}} = 2/2\,\frac{m}{s}$$

ب) وقتی تندی جسم $1/6m/s$ است، انرژی پتانسیل کشسانی آن چقدر است؟

$$v = 1/6\frac{m}{s},\quad U = ?$$

$$E = K + U \Rightarrow U = E - K = \frac{1}{2}kA^2 - \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\times6\times10^2\times(9\times10^{-2})^2 - \frac{1}{2}\times1\times(1/6)^2 = 1/5J$$

@physicsjeffbodi

۸) **معادلهٔ حرکت هماهنگ سادهٔ یک نوسانگر در SI به صورت $x=(۰/۰۵۰\text{m})\cos ۲۰\pi t$ است.**

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

زمانی که تندی نوسانگر بیشینه است، انرژی جنبشی آن بیشینه و انرژی پتانسیل آن صفر است؛ بنابراین نوسانگر در حالت تعادل قرار دارد $(x=۰)$. در نتیجه خواهیم داشت:

$$x=۰\Rightarrow (۰/۰۵)\cos ۲۰\pi t=۰\Rightarrow \cos ۲۰\pi t=\cos\frac{\pi}{۲}\Rightarrow ۲۰\pi t=۲n\pi\pm\frac{\pi}{۲}\ ,\ n\in\mathbb{Z}\Rightarrow t=\frac{n}{۱۰}\pm\frac{۱}{۴۰}\ ,\ n\in\mathbb{Z}$$

بنابراین در لحظه‌های $\frac{۱}{۴۰}s$ ، $\frac{۵}{۴۰}s$ ، $\frac{۹}{۴۰}s$ و... مکان نوسانگر برابر با صفر و تندی آن بیشینه است. پس برای اولین بار در لحظهٔ $t=\frac{۱}{۴۰}s$ ، تندی نوسانگر بیشینه می‌شود.

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

زمانی که تندی نوسانگر صفر است، انرژی جنبشی آن صفر و انرژی پتانسیل آن ماکزیمم است؛ بنابراین در $x=\pm A$ تندی نوسانگر صفر است.

$$x=\pm ۰/۰۵\Rightarrow (۰/۰۵)\cos ۲۰\pi t=\pm ۰/۰۵\Rightarrow \cos ۲۰\pi t=\pm ۱$$

$$\Rightarrow\begin{cases}\cos ۲۰\pi t=\cos ۰\Rightarrow ۲۰\pi t=۲n\pi\Rightarrow t=\frac{n}{۱۰}\Rightarrow t=\{\frac{۱}{۱۰}s\ ,\ \frac{۲۰}{۱۰}s\ ,\ \frac{۳}{۱۰}s\ ,\cdots\}\\ \cos ۲۰\pi t=\cos\pi\Rightarrow ۲۰\pi t=۲n\pi\pm\pi\Rightarrow t=\frac{n}{۱۰}+\frac{۱}{۲۰}\Rightarrow t=\{\frac{۱}{۲۰}s\ ,\ \frac{۳}{۲۰}s\ ,\ \frac{۵}{۲۰}s\ ,\cdots\}\end{cases}$$

بنابراین تندی نوسانگر برای اولین بار در لحظهٔ $t=\frac{۱}{۲۰}s$ به صفر می‌رسد.

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

$$\left.\begin{matrix}E=K+U\\ K=U\end{matrix}\right\}\Rightarrow E=۲K\Rightarrow \frac{۱}{۲}kA^۲=۲\times\frac{۱}{۲}mv^۲\Rightarrow kA^۲=۲mv^۲\Rightarrow\frac{kA^۲}{۲m}=v^۲\Rightarrow v=\frac{A}{\sqrt{۲}}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\Rightarrow v=\frac{A}{\sqrt{۲}}\omega\Rightarrow v=\frac{۰/۰۵\times ۲۰\pi}{\sqrt{۲}}=۲/۲۲\frac{m}{s}$$

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 جلوافتادن در یک شبانه‌روز چقدر است؟** $(g_{\text{تهران}}=۹/۸۰\text{m}/\text{s}^۲\ ,\ g_{\text{استوا}}=۹/۷۸\text{m}/\text{s}^۲)$

دورهٔ تناوب آونگ را در تهران با $T_۱$ و در استوا با $T_۲$ نشان می‌دهیم؛ بنابراین:

$$T=۲\pi\sqrt{\frac{L}{g}}\Rightarrow\frac{T_۱}{T_۲}=\frac{۲\pi\sqrt{\frac{L}{g_{\text{تهران}}}}}{۲\pi\sqrt{\frac{L}{g_{\text{استوا}}}}}=\sqrt{\frac{g_{\text{استوا}}}{g_{\text{تهران}}}}=\sqrt{\frac{۹/۷۸}{۹/۸۰}}<۱\Rightarrow T_۱<T_۲$$

بنابراین مدت زمان یک دور کامل در استوا بیشتر است و ساعت در استوا عقب می‌افتد. برای پیدا کردن مقدار عقب افتادن ساعت در استوا در یک شبانه‌روز به این صورت عمل می‌کنیم. هر شبانه‌روز معادل ۸۶۴۰۰ ثانیه است؛ بنابراین

@physicsforyou

آونگ ساعت در تهران ۸۶۴۰۰ بار در هر شبانه‌روز نوسان می‌کند (به ازای هر نوسان کامل، ساعت ۱ ثانیه جلو می‌رود.) کافی است تعداد نوسانات آونگ ساعت در استوا را محاسبه کنیم.

$$n_1 T_1 = n_2 T_2 \Rightarrow n_2 = n_1 \frac{T_1}{T_2} = ۸۶۴۰۰\sqrt{\frac{۹/۷۸}{۹/۸}} \simeq ۸۶۳۱۲$$

بنابراین ساعت در استوا ۸۶۳۱۲ ثانیه در هر شبانه‌روز جلو می‌رود و ۸۸ ثانیه از زمان واقعی (ساعت در تهران) عقب می‌افتد.

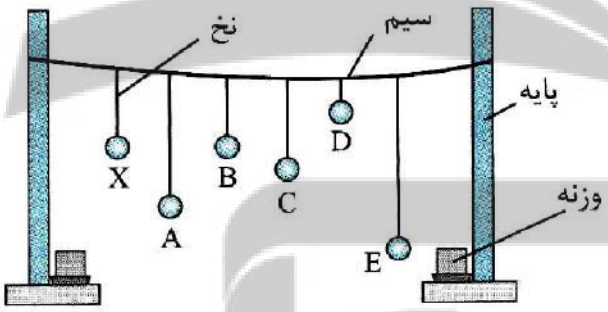
ب) به نظر شما آیا با افزایش دما، یک ساعت آونگ‌دار جلو می‌افتد یا عقب؟

طبق رابطهٔ $l' = l(۱+\alpha\Delta\theta)$ با افزایش دما، طول آونگ و دورهٔ تناوب آن افزایش می‌یابد و مشابه قسمت قبل می‌توان نشان داد با افزایش دورهٔ تناوب حرکت، ساعت عقب می‌افتد.

(۱۰) هر فرد معمولاً با چرخش اندک بدنش به چپ و راست، راه می‌رود و بدین ترتیب نیروهای کوچکی به زمینِ زیر پایش وارد می‌کند. این نیروها بسامدی در حدود ۰/۵Hz دارند. لرزش شدید پل هوایی میلینیوم در آغاز هزارهٔ 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؟

هرگاه بسامد نوسان بدن این افراد با بسامد طبیعی پل برابر شود، پدیدهٔ تشدید رخ داده و سبب ایجاد لرزش شدید می‌شود.

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



دو آونگ X و B طول یکسانی دارند، بنابراین بسامد طبیعی آنها با یکدیگر برابر است، در نتیجه با نوسان آونگ X برای آونگ B پدیدهٔ تشدید رخ داده و این آونگ با دامنهٔ زیادی نوسان می‌کند. اما آونگ‌های دیگر چون دارای بسامد طبیعی متفاوت با بسامد طبیعی آونگ X دارند، نوسان‌های کوچک‌تری انجام می‌دهند.

(۱۲) یک نوسان‌ساز موج‌هایی دوره‌ای در یک ریسمان کشیده ایجاد می‌کند.

الف) با افزایش بسامد نوسان‌ساز کدام‌یک از کمیت‌های زیر تغییر نمی‌کند؟ بسامد موج، تندی موج، طول‌موجِ موج.

تندی موج، زیرا تندی موج در یک محیط به ویژگی‌های فیزیکی محیط بستگی دارد و به شرایط چشمهٔ موج مانند بسامد، دامنه و... بستگی ندارد.

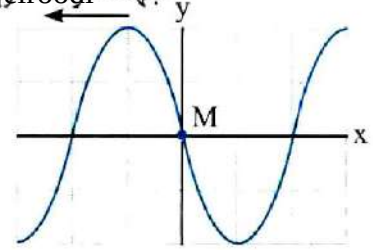
ب) حال اگر به جای افزایش بسامد، کشش ریسمان را افزایش دهیم، هر یک از کمیت‌های زیر چه تغییری می‌کند؟ بسامد موج، تندی موج، طول‌موج موج.

تندی یک موج عرضی که در راستای یک ریسمان کشیده منتشر می‌شود از رابطهٔ $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ به دست می‌آید؛ بنابراین با افزایش کشش ریسمان (F) تندی موج نیز افزایش می‌یابد. اما چون بسامد موج با بسامد نوسان‌ساز برابر است، بسامد موج تغییر نمی‌کند؛ بنابراین طبق رابطهٔ $\lambda = \frac{v}{f}$ ، طول‌موج نیز افزایش می‌یابد.

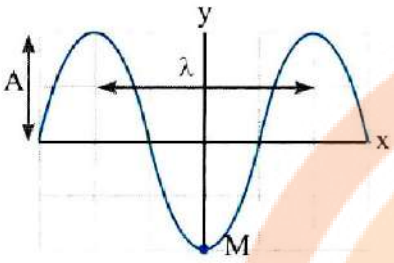
تلاشی درمسیر موفقیت

physicsgh

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، دامنهٔ موج و طول‌موج را نشان دهید.



موج در هر دوره (T) به اندازهٔ طول‌موج خود (λ) پیش می‌رود؛ بنابراین در مدت‌زمان $\frac{T}{4}$ به اندازهٔ $\frac{\lambda}{4}$ پیش می‌رود. در نتیجه شکل موج به صورت روبه‌رو خواهد بود و با توجه به شکل نقطهٔ M در جهت منفی محور y حرکت کرده است.

ب) اگر طول‌موج $5/0\,cm$ و تندی موج $10\,cm/s$ باشد، بسامد موج را به دست آورید.

$$\lambda = 5cm \;,\; v = 10\frac{cm}{s} \;,\; f = ?$$

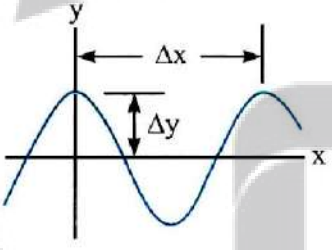
$$\lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow 5 = \frac{10}{f} \Rightarrow f = 2Hz$$

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

$$t = \frac{T}{4} \;,\; \lambda = 5cm \;,\; x = ?$$

$$\left.\begin{matrix} x = vt \\ v = \frac{\lambda}{T} \end{matrix}\right\} \Rightarrow x = \frac{\lambda}{T}t \xrightarrow{t=\frac{T}{4}} x = \frac{\lambda}{T}\times\frac{T}{4} = \frac{\lambda}{4} = \frac{5}{4} = 1/25cm$$

۱۴ **در نمودار جابه‌جایی-مکان موج عرضی شکل زیر $\Delta x = 40/0\,cm$ و $\Delta y = 15/0\,cm$ است. اگر بسامد نوسان‌های چشمه $8/00\,Hz$ باشد، طول‌موج، دامنه، تندی و دورهٔ تناوب موج چقدر است؟**

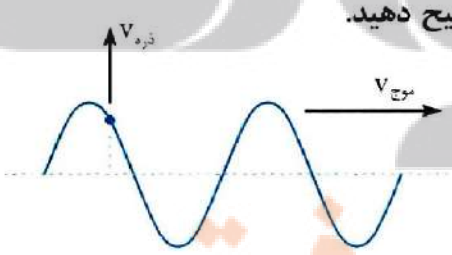


$$\lambda = \Delta x = 40cm \;,\; A = \Delta y = 15cm \;,\; f = 8Hz$$

$$\lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow v = f\lambda = 8\times 40 = 320\frac{cm}{s} = 3/2\frac{m}{s}$$

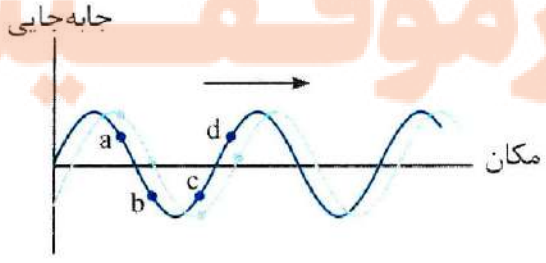
$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{8} = 0/125s$$

۱۵ **شکل زیر موجی عرضی در یک ریسمان را نشان می‌دهد که با تندی $v_{موج}$ به سمت راست حرکت می‌کند، در حالی که تندیِ ذرهٔ نشان داده‌شدهٔ ریسمان $v_{ذره}$ است. آیا این دو تندی با هم برابرند؟ توضیح دهید.**



خیر، هنگام پیشروی موج، ذره با موج حرکت نمی‌کند و در راستای عمود بر راستای انتشار موج نوسان می‌کند؛ بنابراین تندی سرعت آن در نقاط مختلف، متفاوت است در حالی که سرعت انتشار موج ثابت است.

۱۶ **شکل زیر یک موج سینوسی را در لحظه‌ای از زمان نشان می‌دهد که در جهت محور x در طول ریسمان کشیده شده‌ای 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؟** نقش موج را در یک لحظه بعد رسم می‌کنیم و با توجه به شکل مشاهده می‌کنیم که نقاط a و b بالا و نقاط c و d پایین می‌آیند.



@physicsjeffood

(۱۷) سیمی با چگالی $۷/۸۰ g/cm^۳$ و سطح مقطع $۰/۵۰ mm^۲$ بین دو نقطه با نیروی ۱۵۶N کشیده شده است. تندی انتشار موج عرضی را در این سیم محاسبه کنید.

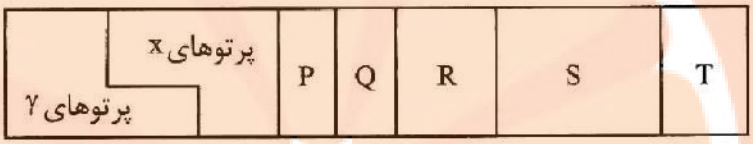
$$\rho = ۷/۸ \frac{g}{cm^۳} = ۷/۸ \frac{kg}{m^۳} \;,\; A = ۰/۵ mm^۲ = ۰/۵ \times ۱۰^{-۶} m^۲ \;,\; F = ۱۵۶ N \;,\; v = ?$$

ابتدا چگالی خطی جرم سیم را محاسبه می‌کنیم:

$$\mu = \frac{m}{L} \xrightarrow[V=AL]{m=\rho V} \mu = \frac{\rho A \cancel{L}}{\cancel{L}} = \rho A = ۳/۹ \times ۱۰^{-۳} \frac{kg}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{۱۵۶}{۳/۹ \times ۱۰^{-۳}}} = ۲۰۰ \frac{m}{s}$$

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



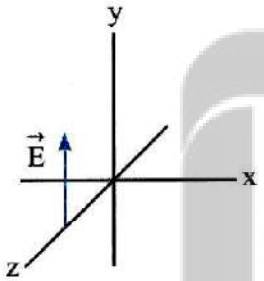
الف) نام قسمت‌هایی از طیف را که با حروف علامت‌گذاری شده‌اند، بنویسید.

فرابنفش: P نور مرئی: Q فروسرخ: R رادیویی: T میکروموج: S

ب) اگر در طول طیف از چپ به راست حرکت کنیم، مقدار کدام مشخصه‌های موج افزایش یا کاهش می‌یابد و کدام ثابت می‌ماند؟

طول‌موج افزایش و بسامد موج کاهش می‌یابد و سرعت امواج ثابت می‌ماند.

(۱۹) شکل زیر میدان الکتریکی یک موج الکترومغناطیسی سینوسی را در نقطه‌ای معیّن 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 قاعدهٔ دست راست، اگر دست راست را طوری نگه داریم که جهت چهار انگشت دست در جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$ (در جهت محور y) و شست در جهت انتشار موج (در خلاف جهت محور z) باشد، جهت خم شدن چهار انگشت دست در جهت میدان مغناطیسی $\vec{B}$ است؛ بنابراین جهت میدان مغناطیسی در جهت محور x است.

(۲۰) الف) طول‌موج نور نارنجی در هوا حدود $۶/۲۰ \times ۱۰^{-۷} m$ است، بسامد این نور چند هرتز است؟

$$v = c = ۳ \times ۱۰^۸ \frac{m}{s} \;,\; \lambda = ۶/۲ \times ۱۰^{-۷} m \;,\; f = ?$$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{۳ \times ۱۰^۸}{۶/۲۰ \times ۱۰^{-۷}} = ۴/۸۴ \times ۱۰^{۱۴} Hz$$

ب) بسامد نور قرمز در حدود $۴/۳۰ \times ۱۰^{۱۴} Hz$ است. طول‌موج این نور را در هوا و آب حساب کنید. (سرعت نور را در هوا $۳/۰ \times ۱۰^۸ m/s$ و در آب $۲/۲۵ \times ۱۰^۸ m/s$ فرض کنید.)

$$f = ۴/۳۰ \times ۱۰^{۱۴} Hz \;,\; v_{هوا} = ۳ \times ۱۰^۸ \frac{m}{s} \;,\; v_{آب} = ۲/۲۵ \times ۱۰^۸ \frac{m}{s}$$

$$\text{آب: } \lambda = \frac{v_{آب}}{f} = \frac{۲/۲۵ \times ۱۰^۸}{۴/۳۰ \times ۱۰^{۱۴}} = ۵/۲۳ \times ۱۰^{-۷} m$$

$$\text{هوا: } \lambda = \frac{v_{هوا}}{f} = \frac{۳ \times ۱۰^۸}{۴/۳۰ \times ۱۰^{۱۴}} = ۶/۹۸ \times ۱۰^{-۷} m$$

تلاش در مسیر موفقیت

© physics.ir

۲۱ چشمهٔ موجی با بسامد ۱۰Hz در یک محیط که تندی انتشار موج در آن ۱۰۰m/s است، نوسان‌هایی طولی ایجاد می‌کند. اگر دامنهٔ نوسان‌ها ۴/۰cm باشد،

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

$$f = ۱۰Hz\ ,\ v = ۱۰۰\frac{m}{s}\ ,\ A = ۴cm\ ,\ \lambda = ?$$

فاصلهٔ بین دو تراکم متوالی برابر با طول‌موج است؛ بنابراین داریم:

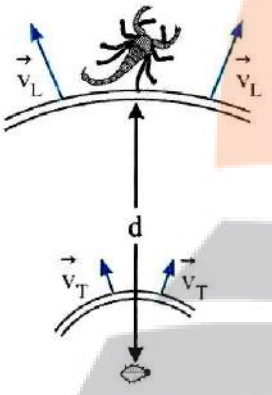
$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{۱۰۰}{۱۰} = ۱۰m$$

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

فاصلهٔ بین یک تراکم و انبساط متوالی برابر با $\frac{\lambda}{۲}$ است؛ بنابراین داریم:

$$\Delta x = \frac{\lambda}{۲} = \frac{۱۰}{۲} = ۵m$$

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 $v_T = ۵۰m/s$ و امواج طولی با تندی $v_L = ۱۵۰m/s$. عقرب ماسه‌ای می‌تواند با استفاده از اختلاف زمانی بین زمان رسیدن این امواج به نزدیک‌ترین پای خود، فاصلهٔ خود از طعمه را تعیین کند. اگر این اختلاف زمان برابر $\Delta t = ۴/۰ms$ باشد، طعمه در چه فاصله‌ای از عقرب قرار دارد؟** زمان رسیدن هر دو موج به پای عقرب با استفاده از رابطهٔ $|\vec{d}| = vt$ به دست می‌آید؛ بنابراین اختلاف زمان رسیدن این دو موج به پای عقرب برابر است با:



$$\Delta t = \frac{|\vec{d}|}{v_T} - \frac{|\vec{d}|}{v_L} = |\vec{d}|\left(\frac{۱}{v_T} - \frac{۱}{v_L}\right) = |\vec{d}|\left(\frac{v_L - v_T}{v_T v_L}\right) \Rightarrow |\vec{d}| = \left(\frac{v_T v_L}{v_L - v_T}\right)\Delta t = \left(\frac{۱۵۰ \times ۵۰}{۱۵۰ - ۵۰}\right) \times ۴ \times ۱۰^{-۳} = ۰/۳m$$

۲۳ **توضیح دهید کدام‌یک از عامل‌های زیر بر تندی صوت در هوا مؤثر است.**

الف) شکل موج **ب) دامنهٔ موج** **پ) بسامد موج** ✓ **ت) دمای هوا**

تندی امواج مکانیکی به ویژگی‌های محیطی که در آن منتشر می‌شوند بستگی دارد؛ بنابراین عواملی مانند شکل موج، دامنهٔ موج و بسامد موج بر تندی امواج مکانیکی مثل صوت بی‌تأثیرند. اما با افزایش دما، جنبش مولکول‌ها افزایش یافته و انتقال انرژی از یک مولکول به مولکول دیگر با سرعت بیشتر روی می‌دهد. در نتیجه صوت با سرعت بیشتری منتشر می‌شود.

۲۴ **در سونوگرافی معمولاً از کاوه‌ای دستی موسوم به تراگذار فراصوتی برای تشخیص پزشکی استفاده می‌شود که دقیقاً روی ناحیهٔ موردنظر از بدن بیمار گذاشته و حرکت داده می‌شود. این کاوه در بسامد ۶/۷MHz عمل می‌کند.**

الف) بسامد زاویه‌ای در این کاوهٔ نوسان چقدر است؟

$$f = ۶/۷MHz = ۶/۷ \times ۱۰^{۶}\ Hz\ ,\ \omega = ?$$

$$\omega = ۲\pi f = ۲\pi(۶/۷ \times ۱۰^{۶}) = ۱۳/۴\pi \times ۱۰^{۶}\ \frac{rad}{s}$$

ب) اگر تندی موج صوتی در بافتی نرم از بدن ۱۵۰۰m/s باشد، طول‌موج این موج در این بافت چقدر است؟

$$f = ۶/۷ \times ۱۰^{۶}\ Hz\ ,\ v = ۱۵۰۰\frac{m}{s}\ ,\ \lambda = ?$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{۱۵۰۰}{۶/۷ \times ۱۰^{۶}} = ۲/۲۳۸ \times ۱۰^{-۴}\ m$$

تلاش در مسیر موفقیت

@physicsjeddi

۲۵) تندی صوت در یک فلز خاص، برابر $v_{فلز}$ است. به یک سر لولهٔ توخالی بلندی از جنس این فلز به طول L ضربهٔ محکمی می‌زنیم. شنونده‌ای که در سر دیگر این لوله قرار دارد دو صدا را می‌شنود. یکی ناشی از موجی است که از دیوارهٔ لوله می‌گذرد و دیگری از موجی است که از طریق هوای داخل لوله عبور می‌کند.

الف) اگر تندی صوت در هوا $v_{هوا}$ باشد، بازهٔ زمانی Δt بین دریافت این دو صدا در گوش شنونده چقدر خواهد بود؟

زمان رسیدن دو موج به سر دیگر لوله با استفاده از رابطهٔ $L = vt$ به دست می‌آید؛ بنابراین اختلاف زمان رسیدن دو موج به سر دیگر میله برابر است با:

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

ب) اگر $\Delta t = 1/00\,s$ و فلز از جنس فولاد باشد، طول L لوله چقدر است؟ $(v_{هوا} = 340\,m/s)$

با استفاده از جدول ۳ - ۱ صفحهٔ ۷۹ کتاب درسی داریم: $v_{فولاد} = 5941\,\frac{m}{s}$

$$\Delta t = L\left(\frac{1}{v_{هوا}} - \frac{1}{v_{فولاد}}\right) \Rightarrow 1 = L\left(\frac{1}{340} - \frac{1}{5941}\right) \Rightarrow L = 360/6\,m$$

۲۶) موجی صوتی با توان $1/2\times10^{-4}\,W$ عمود بر جهت انتشار از دو صفحهٔ فرضی (شکل ۳-۲۶) می‌گذرد. با فرض اینکه مساحت صفحه‌ها به ترتیب $A_1 = 4/0\,m^2$ و $A_2 = 12\,m^2$ باشد، شدت صوت در دو سطح را تعیین کنید و توضیح دهید چرا شنونده در محل صفحهٔ دوم، صدا را آهسته‌تر می‌شنود.

$$\bar{P} = 1/2\times10^{-4}\,W,\ A_1 = 4\,m^2,\ A_2 = 12\,m^2,\ I_1 = ?,\ I_2 = ?$$

$$I_1 = \frac{\bar{P}}{A_1} = \frac{1/2\times10^{-4}}{4} = 0/3\times10^{-4}\,\frac{W}{m^2} \qquad I_2 = \frac{\bar{P}}{A_2} = \frac{1/2\times10^{-4}}{12} = 10^{-5}\,\frac{W}{m^2}$$

در محل صفحهٔ دوم شدت صوت کمتر است و انرژی کمتری در واحد زمان به گوش شخصی که در محل صفحهٔ دوم قرار دارد منتقل می‌شود؛ بنابراین شخص صدا را آهسته‌تر می‌شنود.

۲۷) شدت صدای حاصل از یک متهٔ سنگ‌شکن در فاصلهٔ 10/0 m از آن $1/0\times10^{-2}\,W/m^2$ است. تراز شدت صوتی آن برحسب dB چقدر می‌شود؟

$$I = 1/0\times10^{-2}\,\frac{W}{m^2},\ I_0 = 10^{-12}\,\frac{W}{m^2},\ \beta = ?\,dB$$

$$\beta = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = 10\log\left(\frac{1/0\times10^{-2}}{10^{-12}}\right) = 10\log10^{10} = 100\log10 = 100\,dB$$

۲۸) اگر به مدت ۱۰ دقیقه در معرض صوتی با تراز شدت 120dB باشیم، آستانهٔ شنوایی به طور موقت از 0dB به 28dB افزایش می‌یابد. مطالعات نشان داده است که به طور متوسط اگر به مدت ۱۰ سال در معرض صدایی با تراز شدت 92dB قرار گیریم، آستانهٔ شنوایی به طور دائم به 28dB افزایش می‌یابد. شدت‌های صوت مربوط به 28dB و 92dB چقدر است؟ (راهنمایی: برای پاسخ دادن لازم است از ماشین حساب مناسب استفاده کنید.)

$$\beta_1 = 28\,dB,\ \beta_2 = 92\,dB,\ I_1 = ?,\ I_2 = ?$$

$$\beta_1 = 10\log\left(\frac{I_1}{I_0}\right) \Rightarrow 28 = 10\log\left(\frac{I_1}{10^{-12}}\right) \Rightarrow 2/8 = \log\left(\frac{I_1}{10^{-12}}\right) \Rightarrow 10^{2/8} = \frac{I_1}{10^{-12}} \Rightarrow I_1 = 10^{-9/2} = 6/3\times10^{-10}\,\frac{W}{m^2}$$

$$\beta_2 = 10\log\left(\frac{I_2}{I_0}\right) \Rightarrow 92 = 10\log\left(\frac{I_2}{10^{-12}}\right) \Rightarrow 9/2 = \log\left(\frac{I_2}{10^{-12}}\right) \Rightarrow 10^{9/2} = \frac{I_2}{10^{-12}} \Rightarrow I_2 = 10^{-2/8} = 1/58\times10^{-3}\,\frac{W}{m^2}$$

تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjahoo

۲۹ **یک دستگاه صوتی، صدایی با تراز شدت $\beta_1 = 90/0\,dB$ و دستگاه صوتی دیگر، صدایی با تراز شدت $\beta_2 = 95/0\,dB$ ایجاد می‌کند. شدت‌های مربوط به این دو تراز (برحسب W/m^2) به ترتیب I_1 و I_2 هستند. نسبت I_2/I_1 تعیین کنید.**

$$\beta = 10\log(\frac{I}{I_0}) \Rightarrow \beta_2 - \beta_1 = 10\log(\frac{I_2}{I_0}) - 10\log(\frac{I_1}{I_0}) = 10\log(\frac{\frac{I_2}{I_0}}{\frac{I_1}{I_0}}) = 10\log\frac{I_2}{I_1} \Rightarrow 95 - 90 = 10\log\frac{I_2}{I_1}$$

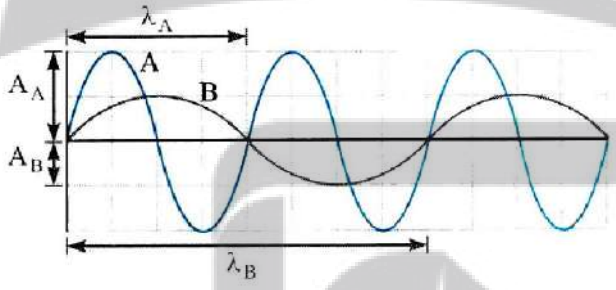
$$\Rightarrow 0/5 = \log\frac{I_2}{I_1} \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = 10^{0/5} = 3/16$$

۳۰ **در یک آتش‌بازی، موشکی در بالای آسمان منفجر می‌شود. فرض کنید صوت به طور یکنواخت در تمام جهت‌ها منتشر شود. از جذب انرژی صوتی در محیط و نیز از بازتابی که ممکن است امواج صوتی از زمین پیدا کند چشم پوشی کنید. با فرض اینکه صوت با شدت $I = 0/10\,W/m^2$ به شنونده‌ای برسد که به فاصلهٔ $r_1 = 640\,m$ از محل انفجار قرار دارد، این صوت به شنونده‌ای که در فاصلهٔ $r_2 = 160\,m$ از محل انفجار قرار دارد با چه شدتی می‌رسد؟**

$$I_1 = 0/1\frac{W}{m^2}\ ,\ r_1 = 640\,m\ ,\ r_2 = 160\,m\ ,\ I_2 = ?$$

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2} \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = \frac{\frac{P}{4\pi r_2^2}}{\frac{P}{4\pi r_1^2}} = (\frac{r_1}{r_2})^2 \Rightarrow \frac{I_2}{0/1} = (\frac{640}{160})^2 \Rightarrow I_2 = 0/1\times 16 = 1/6\frac{W}{m^2}$$

۳۱ **نمودار جابه‌جایی-مکان دو موج صوتی A و B که در یک محیط منتشر شده‌اند، به صورت زیر است. دامنه، طول‌موج، بسامد و شدت این دو موج صوتی را با هم مقایسه کنید.**



محیط انتشار هر دو موج یکسان است، بنابراین $v_A = v_B$.

با توجه به شکل داریم:

$$\lambda_B = 2\lambda_A\ ,\ A_A = 2A_B$$

از طرفی با توجه به رابطهٔ $\lambda = \frac{v}{f}$ داریم:

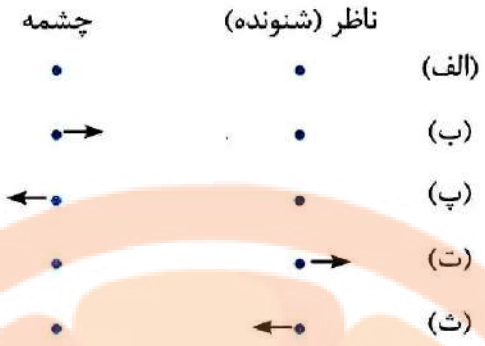
$$\lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow \frac{f_A}{f_B} = \frac{\frac{v_A}{\lambda_A}}{\frac{v_B}{\lambda_B}} = \frac{\lambda_B}{\lambda_A} = 2 \Rightarrow f_A = 2f_B$$

می‌دانیم مقدار متوسط آهنگ انتقال انرژی (توان متوسط) در یک موج سینوسی برای همهٔ انواع امواج مکانیکی با مربع دامنه (A^2) و نیز مربع بسامد (f^2) موج متناسب است. از طرفی با توجه به اینکه شدت صوت (I) در یک سطح برابر است با آهنگ متوسط انرژی که توسط موج به واحد سطح، عمود بر راستای انتشار صوت می‌رسد یا از آن عبور می‌کند ($I = \frac{\bar{P}}{A} = \frac{\bar{P}}{4\pi r^2}$) می‌توان نوشت:

$$\frac{I_A}{I_B} = (\frac{f_A}{f_B})^2(\frac{A_A}{A_B})^2(\frac{r_B}{r_A})^2 = (\frac{2f_B}{f_B})^2(\frac{2A_B}{A_B})^2(1) = 16 \Rightarrow I_A = 16I_B$$

@physicsjeihoodi

۳۲ شکل زیر جهت‌های حرکت یک چشمهٔ صوتی و یک ناظر (شنونده) را در وضعیت‌های مختلف نشان می‌دهد.



بسامدی راکه ناظر در حالت‌های مختلف می‌شنود با حالت الف مقایسه کنید.

در حالت (ب)، ناظر (شنونده) ساکن و چشمه در حال نزدیک شدن به ناظر است بنابراین بسامدی که ناظر دریافت می‌کند بیشتر از بسامد چشمهٔ صوتی است.

در حالت (پ)، ناظر ساکن و چشمه در حال دور شدن از ناظرِ ساکن است، در این حالت بسامد موجی که ناظر می‌شنود کمتر از بسامد چشمهٔ صوتی است.

در حالت (ت)، ناظر (شنونده) در حال دور شدن از چشمهٔ ساکن است، در نتیجه بسامدی که ناظر می‌شود کمتر از بسامد چشمهٔ صوتی است.

در حالت (ث)، ناظر (شنونده) در حال نزدیک شدن به چشمهٔ ساکن است، بنابراین بسامدی که ناظر می‌شنود بیشتر از بسامد چشمهٔ صوتی است.

۳۳ دانش‌آموزی بین دو صخرهٔ قائم ایستاده است و فاصلهٔ او از صخرهٔ نزدیک‌تر ۲۴۰m است. دانش‌آموز فریاد می‌زند و اولین پژواک صدای خود را پس از ۱/۵۰s و صدای پژواک دوم را ۱/۰۰s بعد از پژواک اول می‌شنود.

الف) تندی صوت در هوا چقدر است؟ صوت ایجادشده توسط دانش‌آموز پس از برخورد به دو صخره بازتاب شده و به گوش وی می‌رسد. اگر فاصلهٔ دانش‌آموز از صخرهٔ نزدیک‌تر را x_1 و زمان رفت یا برگشت صوت را t_1 بنامیم، خواهیم داشت:

$$2x_1 = v(2t_1) \Rightarrow 2\times 240 = 1/5v \Rightarrow v = \frac{480}{1/5} = 320\frac{m}{s}$$

ب) فاصلهٔ بین دو صخره را بیابید. اگر فاصلهٔ دانش‌آموز تا صخرهٔ دوم را x_2 و زمان رفت یا برگشت صوت را t_2 بنامیم، داریم:

$$2x_2 = v(2t_2) \Rightarrow 2x_2 = 320\times(1/5+1) \Rightarrow x_2 = \frac{320\times 2/5}{2} = 400m$$

به این ترتیب فاصلهٔ دو صخره برابر است با: $x_1 + x_2 = 240m + 400m = 640m$

۳۴ اگر در فاصلهٔ مناسبی از یک رشته پلکان بلند بایستید و یک بار کف بزنید، پژواکی بیشتر از یک صدای برهم زدن دست می‌شنوید. نمونهٔ جالبی از این پدیده در برابر رشته پله‌های معبد قدیمی کوکولکان در مکزیک رخ می‌دهد. این معبد از ۹۲ پلهٔ سنگی تشکیل شده است. در مورد چنین پژواکی توضیح دهید.

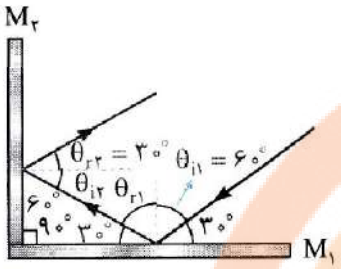
با توجه به اینکه پله‌ها در فواصل متفاوتی نسبت به شنونده قرار دارند و با ثابت بودن سرعت صوت طبق رابطهٔ $x = \frac{v}{t}$ زمان رفت و برگشت صوت نسبت به هر پله متفاوت است و به این ترتیب پژواک‌های پی‌درپی حاصل از برخورد صوت با پله‌ها به گوش می‌رسد که با توجه به فاصلهٔ زمانی کوتاه بین آنها، به صورت مجزا قابل‌تشخیص نیستند.

@physicsjeihoodi

۳۵ **وقتی یک باریکهٔ لیزر را به دیوار کلاس می‌تابانیم، همهٔ دانش‌آموزان نقطهٔ رنگی ایجاد شده روی دیوار را می‌بینند. دلیل آن چیست؟**

سطح دیوار برای نور مرئی ناهموار محسوب می‌شود و بازتاب نامنظم دارد؛ یعنی نور تابیده‌شده را به تمام جهات بازتاب می‌کند. بنابراین چشم دانش‌آموزان در تمام نقاط کلاس بخشی از پرتوهای بازتاب شده را دریافت می‌کند و آنها می‌توانند نقطهٔ رنگی را ببینند.

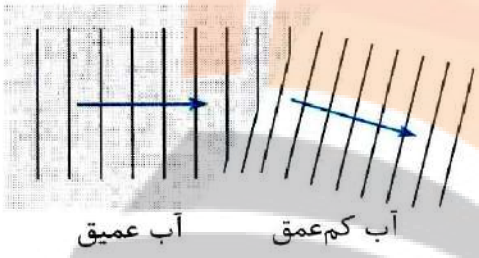
۳۶ **در شکل زیر پرتوهای بازتابیده از آینه‌های تخت M_1 و M_2 را رسم کنید.**



با استفاده از قانون بازتاب عمومی همواره $\theta_i = \theta_r$.

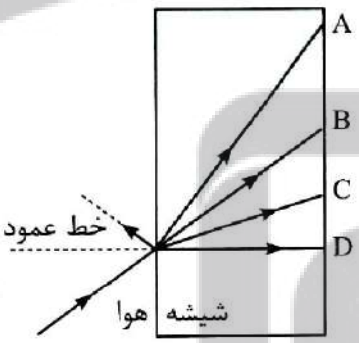
توجه داشته باشید که مجموع زوایای داخلی هر مثلث ۱۸۰ درجه است.

۳۷ **با رسم شکلی از جبهه‌های موج توضیح دهید چگونه جهت انتشار جبهه‌های موج با رسیدن به یک ساحل شیب‌دار، تغییر می‌کند.** می‌دانیم تندی امواج روی سطح آب به عمق آب بستگی دارد.

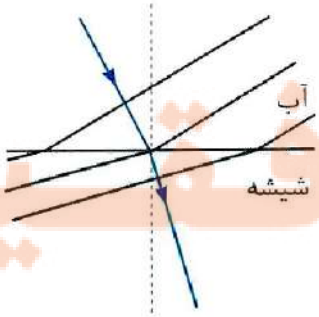


با ورود موج به ناحیهٔ کم‌عمق، تندی موج سطحی کاهش یافته و بخشی که زودتر به این ناحیه رسیده چون با تندی کمتر حرکت می‌کند، از بقیهٔ موج که هنوز وارد این ناحیه نشده عقب می‌افتد، بنابراین فاصلهٔ بین جبهه‌های موج در ناحیهٔ کم‌عمق کاهش یافته و باعث تغییر جهت موج در مرز دو ناحیه می‌شود.

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؟** پرتوی C درست است زیرا پرتوی مایل پس از ورود از هوا به شیشه شکسته می‌شود و به دلیل اینکه ضریب‌شکست شیشه از هوا بیشتر است، پرتوی شکست به خط عمود بر مرز دو محیط نزدیک می‌شود. پرتوی A از خط عمود دور شده است، پرتوی B انحراف پیدا نکرده است و پرتوی D بر خط عمود منطبق است که تنها در مورد تابش عمودی می‌تواند درست باشد.



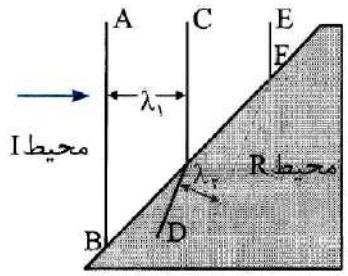
۳۹ **ضریب‌شکست آب ۱/۳ و ضریب‌شکست شیشه ۱/۵ است. اگر نوری به طور مایل از آب به مرز شیشه با آب بتابد، با رسم نموداری، جبهه‌های موج را در دو محیط نشان دهید.**



هنگام ورود موج از یک محیط به محیط دیگر تندی موج تغییر می‌کند و باعث تغییر جهت انتشار موج می‌گردد. با توجه به اینکه ضریب‌شکست آب کمتر از ضریب‌شکست شیشه است، تندی انتشار نور در شیشه کمتر از آب است، بنابراین با ورود نور از آب به شیشه از تندی آن کاسته شده و آن بخش از موج که زودتر به محیط غلیظ می‌رسد از بقیه موج که هنوز وارد این ناحیه نشده عقب می‌افتد و فاصلهٔ جبهه‌های موج و طول‌موج کاهش می‌یابد و به این ترتیب جبهه‌های موج مطابق شکل روبه‌رو در مرز بین دو ماده تغییر جهت می‌دهند.

@physicsjeffbodi

۴۰ شکل زیر جبهه‌های موجی را نشان می‌دهد که از مرز بین محیط I و محیط R فرود آمده‌اند.

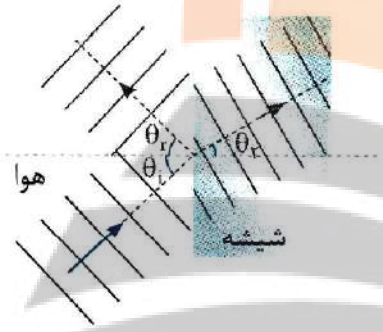


الف) ادامهٔ جبههٔ موج EF را در محیط R رسم کنید. جبهه‌های موج تخت در یک محیط با هم موازی هستند بنابراین می‌توان سایر آنها را از نقاط برخورد با مرز جدایی دو محیط به صورت جبهه‌های موازی با امتداد جبههٔ موج CD در محیط R رسم کرد.

ب) توضیح دهید در کدام محیط تندی موج بیشتر است. تندی موج در محیط I بیشتر است زیرا فواصل بین جبهه‌های موج و در نتیجه طول‌موج در این محیط بیشتر است.

پ) آیا با استفاده از این نمودار می‌توان نسبت تندی موج عبوری به موج فرودی را محاسبه کرد؟ بله، با اندازه‌گیری فاصلهٔ بین جبهه‌های موج در محیط‌های I و R یعنی λ_1 و λ_2 و با توجه به اینکه بسامد موج عبوری از هر دو محیط یکسان است. به کمک رابطهٔ $\lambda = \frac{v}{f}$ نسبت سرعت موج در دو محیط برابر با نسبت طول‌موج در دو محیط است. $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2}$

۴۱ در شکل زیر موج نوری فرودی از هوا وارد شیشه می‌شود. بخشی از موج در سطح جدایی دو محیط بازمی‌تابد و بخشی دیگر شکست می‌یابد و وارد شیشه می‌شود.



الف) مشخصه‌های موج بازتابیده و موج شکست‌یافته را با موج فرودی مقایسه کنید.

موج بازتابیده از نظر سرعت، بسامد و طول‌موج کاملاً شبیه موج فرودی است زیرا چشمهٔ موج تغییر نکرده و محیط انتشار آن نیز همچنان هواست. بنابراین با زاویهٔ $\theta_r = \theta_i$ از مرز شیشه باز می‌تابد و فواصل جبهه‌های موج آن با جبهه‌های موج فرودی برابر است. اما موج شکست‌یافته وارد محیط با ضریب‌شکست بیشتری شده و تندی آن کاهش می‌یابد. بنابراین طبق رابطهٔ $\lambda = \frac{v}{f}$ طول‌موج نیز کاهش یافته و جبهه‌های موج به هم نزدیک‌تر می‌شود. بنابراین زاویهٔ شکست از زاویهٔ تابش کوچک‌تر می‌شود ($\theta_2 < \theta_i$).

ب) جبهه‌های موج بازتابیده و شکست‌یافته را رسم کنید.

۴۲ طول‌موج نور قرمز لیزر هلیم-نئون در هوا حدود ۶۳۳nm است، ولی در زجاجیهٔ چشم ۴۷۴nm است.

الف) بسامد این نور چقدر است؟

$\lambda_1 = ۶۳۳\text{nm} = ۶۳۳ \times ۱۰^{-۹}\text{m} \;,\; f_1 = ?$

سرعت نور در هوا تقریباً برابر سرعت نور در خلأ است ($v_1 = c = ۳ \times ۱۰^{۸}\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$)، پس بسامد نور لیزر برابر است با:

$$f = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{۳ \times ۱۰^{۸}}{۶۳۳ \times ۱۰^{-۹}} = ۴/۷۴ \times ۱۰^{۱۴}\text{Hz}$$

ب) ضریب‌شکست زجاجیه برای این نور چقدر است؟

$\lambda_1 = ۶۳۳\text{nm} \;,\; \lambda_2 = ۴۷۴\text{nm} \;,\; n_1 = ۱ \;,\; n_2 = ?$

$$\lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} \xrightarrow{v=\frac{c}{n}} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \frac{۶۳۳}{۴۷۴} = \frac{n_2}{۱} \Rightarrow n_2 = ۱/۳۳۵$$

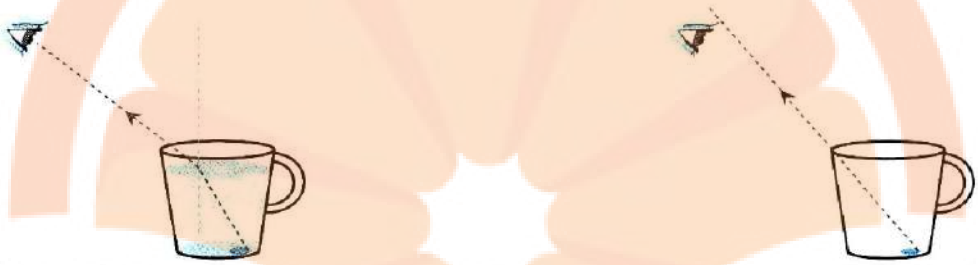
پ) تندی این نور در زجاجیه را محاسبه کنید.

$$v_2 = \frac{c}{n_2} = \frac{۳ \times ۱۰^{۸}}{۱/۳۳۵} = ۲/۲۴۷ \times ۱۰^{۸}\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

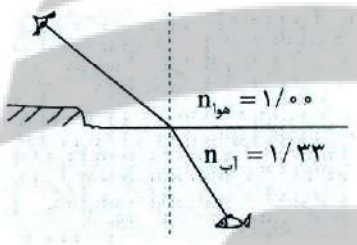
تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjeddoud

۴۳ سکه‌ای را در گوشهٔ فنجانی خالی قرار دهید و طوری مقابل آن قرار گیرید که نتوانید سکه را ببینید. سپس بی‌آنکه سرتان را حرکت دهید به آرامی در فنجان آب بریزید، به طوری که آب ریختن شما موجب جابه‌جایی سکه نشود. با پرشدن فنجان، سکه را خواهید دید. با رسم پرتوها علت دیده شدن سکه را توضیح دهید. همانطور که در شکل (الف) دیده می‌شود وقتی فنجان خالی است پرتوهایی که از سطح سکه بازتاب می‌شوند به چشم ناظر نمی‌رسند و سکه دیده نمی‌شود. اما با ریختن آب در فنجان طبق شکل (ب) پرتوهای نور بازتابیده شده از سطح سکه پس از خروج از آب شکسته شده و از خط عمود بر سطح آب دورتر می‌شوند، بنابراین می‌توانند به چشم ناظر برسند و ناظر سکه را در امتداد پرتوهای شکست و قدری بالاتر از مکان واقعی آن می‌بیند.



۴۴ مطابق شکل، پرتو نوری که از ماهی به چشمان شخص می‌رسد تحت زاویهٔ ۶۰° به مرز آب-هوا برخورد کرده است. زاویهٔ شکست این پرتو در هوا چقدر است؟

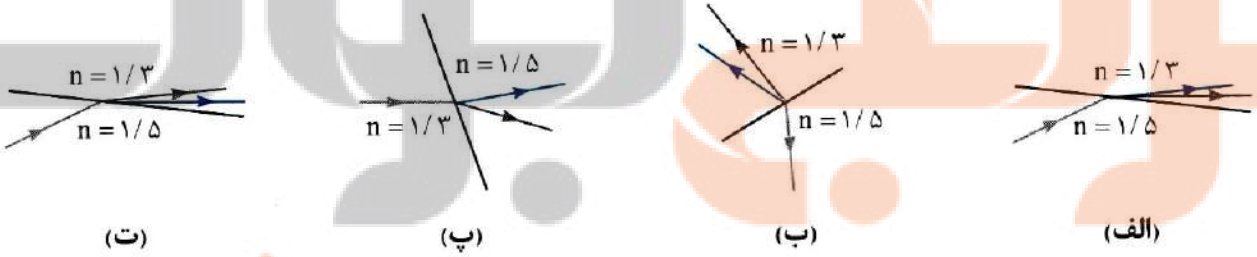


$$n_۱ = n_{آب} = ۱/۳۳ \ , \ n_۲ = n_{هوا} = ۱ \ , \ \theta_۱ = ۹۰^\circ - ۶۰^\circ = ۳۰^\circ \ , \ \theta_۲ = ?$$

$$n_۱ \sin\theta_۱ = n_۲ \sin\theta_۲ \Rightarrow ۱/۳۳ \sin ۳۰^\circ = ۱ \sin\theta_۲$$

$$\Rightarrow \sin\theta_۲ = \frac{۱/۳۳}{۲} \Rightarrow \theta_۲ \simeq ۴۲^\circ$$

۴۵ در شکل‌های زیر، پرتوی فرودی که شامل نورهای قرمز و آبی است در سطح مشترک دو ماده شکست پیدا کرده‌اند. کدام شکل، شکستی را نشان می‌دهد که از لحاظ فیزیکی ممکن است؟



ابتدا در هر یک از شکل‌ها خط عمود بر مرز جدایی دو محیط را در محل برخورد پرتوی تابش رسم می‌کنیم، در شکست نور همواره پرتوهای تابش و شکست دو طرف خط عمود قرار می‌گیرند. بنابراین شکست پرتوهای نور به صورت شکل (ب) از لحاظ فیزیکی غیرممکن است. علاوه بر این هنگام عبور نور از محیط با ضریب‌شکست کمتر به محیط با ضریب‌شکست بیشتر، پرتوی شکست به خط عمود نزدیک‌تر می‌شود، بنابراین شکست پرتوهای نور به صورت شکل (پ) هم از لحاظ

@physicsjeroodi

فیزیکی غیرممکن است. از طرفی می‌دانیم ضریب‌شکست یک محیط معین برای طول‌موج‌های کوتاه‌تر بیشتر است، بنابراین ضریب‌شکست محیط دوم برای نور آبی بیشتر از نور قرمز است و با توجه به اینکه نور از محیط با ضریب‌شکست بیشتر به محیط با ضریب‌شکست کمتر وارد شده انحراف نور قرمز باید بیشتر از نور آبی باشد، بنابراین شکست پرتوهای نور به صورت شکل (ت) نیز نمی‌تواند از لحاظ فیزیکی ممکن باشد.

۴۶ **دو دانش‌آموز به نور زرد نگاه می‌کنند. یکی از آنها نور زرد را ترکیب دو نور قرمز و سبز و دیگری آن را از یک نوع رنگ می‌داند. به نظر شما با چه تجربه‌ای می‌توان بین این دو نظر، یکی را انتخاب کرد؟**

می‌توانیم نور زرد را از یک منشور عبور دهیم؛ اگر پس از خروج از منشور نور تجزیه شد، نتیجه می‌گیریم که نور زرد ترکیبی از سایر نورهاست. اما اگر تجزیه نشد، مشخص می‌شود که نور زرد یک نور تک رنگ است.

ترنج بوک
تلاشی درمسیرموفقیت

@physicsjeffbodi

تمرین(۴-۱) ..... صفحهٔ ۹۹ کتاب درسی

نوری با طول موج ۲۴۰nm به سطحی از جنس فلز تنگستن می‌تابد و سبب گسیل فوتوالکترون‌ها از آن می‌شود.

الف) بسامد نور فرودی را پیدا کنید.

$$\lambda = ۲۴۰nm = ۲۴۰\times۱۰^{-۹}m \quad , \quad c = ۳\times۱۰^{۸}\frac{m}{s} \quad , \quad f = ?$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{۳\times۱۰^{۸}}{۲۴۰\times۱۰^{-۹}} = ۱/۲۵\times۱۰^{۱۵}Hz$$

ب) اگر توان چشمهٔ نور فرودی ۵۰W باشد، در هر دقیقه چه تعداد فوتون از این چشمه گسیل می‌شود؟

ابتدا انرژی تابش‌شده توسط چشمه در هر ثانیه را محاسبه می‌کنیم: $E = pt = ۵۰\times۱ = ۵۰J$

نسبت این انرژی به انرژی هر فوتون، شمار فوتون‌های گسیل‌شده در هر ثانیه را به دست می‌دهد؛ بنابراین داریم:

$$n = \frac{E}{hf} = \frac{۵۰}{۶/۶۳\times۱۰^{-۳۴}\times۱/۲۵\times۱۰^{۱۵}} = ۶/۰۳\times۱۰^{۱۹}$$

پ) اگر توان و در نتیجه شدت چشمهٔ نور فرودی به نصف کاهش پیدا کند، شمار فوتون‌های گسیل‌شده از چشمه در هر دقیقه چه تغییری می‌کند؟

با نصف شدن توان چشمهٔ نور فرودی، انرژی تابش‌شده توسط چشمه در یک مدت‌زمان مشخص، نصف می‌شود و با توجه به اینکه انرژی هر فوتون تغییری نمی‌کند (چون طول‌موج و بسامد فوتون‌های گسیل‌شده تغییری نمی‌کند)، طبق رابطهٔ $n = \frac{E}{hf}$، تعداد فوتون‌های گسیل‌شده در یک مدت‌زمان مشخص نیز نصف می‌شود.

تمرین(۴-۲) ..... صفحهٔ ۱۰۲ کتاب درسی

طول‌موج‌های اولین و دومین خط‌های طیفی اتم هیدروژن در رشتهٔ پاشن ($n' = ۳$) را به دست آورید و تعیین کنید که این خط‌ها در کدام گسترهٔ طول‌موج‌های الکترومغناطیسی واقع‌اند.

در رشتهٔ پاشن $n' = ۳$ و اولین و دومین خط طبیعی برای این رشته به‌ترتیب متناظر با $n = ۴$ و $n = ۵$ است، در این صورت داریم:

$$\frac{۱}{\lambda} = R(\frac{۱}{۳^{۲}} - \frac{۱}{n^{۲}}) \Rightarrow \begin{cases} n = ۴ \Rightarrow \frac{۱}{\lambda} = R(\frac{۱}{۳^{۲}} - \frac{۱}{۴^{۲}}) = ۰/۰۱۱\times(۴/۸۶\times۱۰^{-۲}) \Rightarrow \lambda = ۱۸۷۰nm \\ n = ۵ \Rightarrow \frac{۱}{\lambda} = R(\frac{۱}{۳^{۲}} - \frac{۱}{۵^{۲}}) = ۰/۰۱۱\times(۷/۱۱\times۱۰^{-۲}) = ۱۲۷۸nm \end{cases}$$

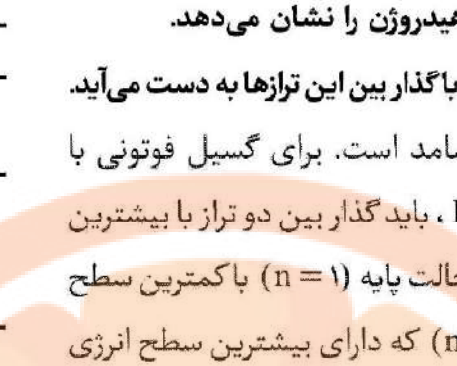
که با توجه به طیف امواج الکترومغناطیسی در فصل ۳، هر دو طول‌موج در ناحیهٔ فروسرخ قرار دارند.

تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjeffbook

تمرین(۴-۳) ..... **صفحهٔ ۱۰۶ کتاب درسی**

شکل مقابل تعدادی از ترازهای انرژی اتم هیدروژن را نشان می‌دهد.



الف) کمترین طول‌موج فوتونی را پیدا کنید که با گذار بین این ترازها به دست می‌آید.

کمترین طول‌موج متناظر با بیشترین بسامد است. برای گسیل فوتونی با بسامد بیشتر طبق رابطهٔ $E_U - E_L = hf$ ، باید گذار بین دو تراز با بیشترین اختلاف انرژی صورت بگیرد. یعنی گذار از حالت پایه $(n=1)$ با کمترین سطح انرژی $(-۱۳/۶eV)$ به خارج اتم $(n=\infty)$ که دارای بیشترین سطح انرژی $(۰eV)$ است.

$$E_U - E_L = E_\infty - E_1 = hf = \frac{hc}{\lambda_{min}} \Rightarrow \lambda_{min} = \frac{hc}{E_\infty - E_1} = \frac{۱۲۴۰}{۰-(-۱۳/۶)} = ۹۱/۲nm$$

ب) اگر الکترون از تراز انرژی $-۱/۵۱eV$ به تراز پایه جهش کند طول‌موج فوتون گسیلی را پیدا کنید.

برای گذار از تراز انرژی $۱/۵۱eV$ یعنی تراز سوم به تراز پایه (تراز اول) طول‌موج فوتون گسیلی به صورت زیر است:

$$\lambda = \frac{hc}{E_۳ - E_۱} = \frac{۱۲۴۰}{-۱/۵۱-(-۱۳/۶)} = ۱۰۲nm$$

پ) کدام گذار بین دو تراز می‌تواند به گسیل فوتونی با طول‌موج $۶۶۰nm$ منجر شود؟ توجه کنید که این طول‌موج‌ها در گسترهٔ مرئی است.

اگر گذار از تراز E_U به E_L رخ می‌دهد، خواهیم داشت:

$$E_U - E_L = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{۱۲۴۰}{۶۶۰} = ۱/۸۸eV$$

با توجه به شکل این اختلاف انرژی مربوط به گذار بین تراز ۲ (تراز با انرژی $-۳/۴eV$) و تراز ۳ (تراز با انرژی $-۱/۵۱$) است یعنی گذار از اولین حالت برانگیخته به دومین حالت برانگیخته رخ می‌دهد. $E_۳ - E_۲ = -۱/۵۱-(-۳/۴) = ۱/۸۸eV$

پرسش(۴-۱) ..... **صفحهٔ ۱۰۹ کتاب درسی**

آیا معادلهٔ ۴-۶ برای فرایند جذب فوتون نیز برقرار است؟

بله، هنگام گذار الکترون از یک حالت مانا به حالت مانای دیگر، یک فوتون جذب یا گسیل می‌شود که انرژی آن دقیقاً برابر با اختلاف انرژی دو مدار اولیه و نهایی است. بنابراین برای به دست آوردن انرژی فوتون جذب‌شده یا گسیل‌شده می‌توان از معادلهٔ ۴-۶ استفاده کرد.

تمرین(۴-۴) ..... **صفحهٔ ۱۱۳ کتاب درسی**

با توجه به آنچه تاکنون دیدید و همچنین با استفاده از جدول تناوبی عناصر، که در پیوست کتاب آمده است، نماد هسته را در هر یک از موارد زیر تعیین کنید.

الف) ایزوتوپ فلوئور (F) با عدد نوترونی ۱۰

عدد اتمی عنصر فلوئور برابر با ۹ است، بنابراین داریم:

$$Z = ۹ ,\ N = ۱۰ \Rightarrow A = Z + N = ۱۹$$

به این ترتیب نماد هستهٔ فلوئور به شکل روبه‌رو خواهد بود.

$${}^{A}_{Z}F_N = {}^{۱۹}_{۱۰}F_۹$$

تلاشی در مسیر موفقیت

@physicsjeihoodi

ب) ایزوتوپ قلع (Sn) با عدد نوترونی ۶۶

عدد اتمی عنصر قلع برابر ۵۰ است، بنابراین داریم: $Z = ۵۰ \ ، \ N = ۶۶ \Rightarrow A = Z + N = ۵۰ + ۶۶ = ۱۱۶$

به این ترتیب نماد هستهٔ قلع به صورت روبه‌رو است. $^{A}_{Z}Sn_{N} = {}^{۱۱۶}_{۵۰}Sn_{۶۶}$

پرسش (۴-۲) ..... **صفحهٔ ۱۱۴ کتاب درسی**

هر نقطهٔ آبی‌رنگ در نمودار شکل ۴-۲۲ نشان‌دهندهٔ یک هستهٔ پایدار است. با توجه به این نمودار به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

الف) نسبت تعداد نوترون به تعداد پروتون (N/Z) برای هسته‌های پایدار مختلف ثابت است یا متفاوت؟ توضیح دهید.

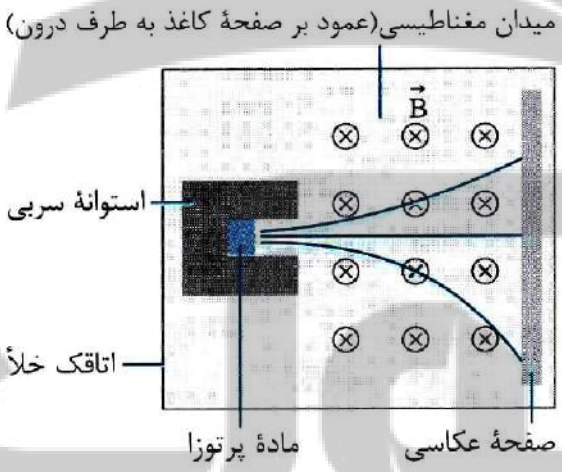
برای عناصر با عدد اتمی کوچک، نسبت $\frac{N}{Z}$ برای هسته‌های پایدار تقریباً برابر با ۱ است. با افزایش عدد اتمی برای پایدار بودن هسته تعداد نوترون‌ها باید بیشتر از تعداد پروتون‌ها باشد، بنابراین نسبت $\frac{N}{Z}$ برای هسته‌های پایدار با عدد اتمی بزرگ، کوچک‌تر از ۱ است؛ در نتیجه نسبت $\frac{N}{Z}$ همواره ثابت نیست.

ب) ایزوتوپ‌های مختلف یک عنصر را چگونه می‌توان با استفاده از این نمودار تشخیص داد؟

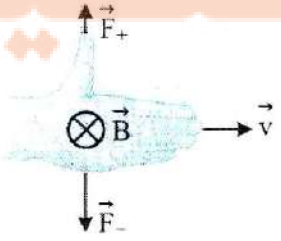
ایزوتوپ‌ها هسته‌هایی با عدد اتمی (Z) یکسان هستند که عدد نوترونی (N) متفاوتی دارند. بنابراین تمام نقاطی که روی خطی افقی قرار می‌گیرند که محور عمودی را در نقطه‌ای مثل Z_0 قطع می‌کند، ایزوتوپ‌های مختلف عنصری با عدد اتمی Z_0 را نشان می‌دهند.

پرسش (۴-۳) ..... **صفحهٔ ۱۱۶ کتاب درسی**

شکل روبه‌رو طرح آزمایش ساده‌ای را نشان می‌دهد که به کمک آن می‌توان سه نوع پرتوزایی طبیعی را مشاهده کرد و به تفاوت بار و جرم پرتوها از یکدیگر پی برد. قطعه‌ای از مادهٔ پرتوزا را در ته حفرهٔ باریکی در یک استوانهٔ سربی قرار می‌دهند. استوانه را درون اتاقکی می‌گذارند و هوای درون آن را تخلیه می‌کنند. سپس یک صفحهٔ عکاسی مقابل حفره قرار می‌دهند و میدان مغناطیسی یکنواختی درون اتاقک برقرار می‌کنند. خطوط قرمزرنگ، مسیر حرکت پرتوها را نشان می‌دهد. نوع بار پرتوها را با هم مقایسه کنید.



با توجه به نیروی وارد بر ذرات باردار متحرک در میدان مغناطیسی و استفاده از قاعدهٔ دست راست برای تعیین جهت نیرو می‌توان نوع بار پرتوها را تعیین کرد. از آنجایی که مسیر حرکت اولیهٔ پرتوها $(\vec{v})$ ابتدا به سمت راست بوده و میدان مغناطیسی $(\vec{B})$ درون‌سو است، با قرار دادن چهار انگشت دست راست به طرف راست (در جهت $\vec{v}$) به طوری که جهت خم شدن انگشتان، جهت میدان مغناطیسی $(\vec{B})$ را نشان دهد، انگشت شست جهت نیروی وارد بر بار مثبت $(\vec{F}_+)$ را مشخص می‌کند. بنابراین پرتویی که به طرف بالا منحرف شده بار مثبت دارد. جهت نیروی وارد بر بار منفی $(\vec{F}_-)$ برخلاف جهت بار مثبت است، بنابراین پرتوی منحرف‌شده به طرف پایین بار منفی دارد و پرتویی که اصلاً انحراف پیدا نکرده بدون بار است.



@physicsjeffbod

تمرین(۴-۵) ..... صفحهٔ ۱۱۸ کتاب درسی

لوتتیم ($^{176}_{71}Lu$) عنصر پرتوزایی است که با گسیل بتای منفی، واپاشی می‌کند. معادلهٔ این واکنش را بنویسید و با استفاده از جدول تناوبی عنصرها که در پیوست آمده است، عنصر جدیدی را که تولید می‌شود تعیین کنید.

$Z = ۷۲$ متعلق به عنصر هافنیم است.

$$^{A}_{Z}X \Rightarrow ^{a}_{Z+1}Y + ^{0}_{-1}e^{-} \Rightarrow ^{176}_{71}Lu \Rightarrow ^{176}_{72}Y + ^{0}_{-1}e^{-}$$

تمرین(۴-۶) ..... صفحهٔ ۱۱۹ کتاب درسی

ایزوتوپ ($^{15}_{8}O$) با گسیل پوزیترون، واپاشی می‌کند. معادلهٔ این واکنش را بنویسید و با استفاده از جدول تناوبی عنصرها که در پیوست آمده است، عنصر جدیدی را که تولید می‌شود تعیین کنید.

$Z = ۷$ متعلق به عنصر نیتروژن است.

$$^{A}_{Z}X = ^{A}_{Z-1}Y + ^{0}_{+1}e^{+} \Rightarrow ^{15}_{8}O = ^{15}_{7}Y + ^{0}_{+1}e^{+}$$

تمرین(۴-۷) ..... صفحهٔ ۱۲۱ کتاب درسی

پس از گذشت ۹ روز، تعداد هسته‌های پرتوزای یک نمونه، به $\frac{۱}{۸}$ تعداد موجود در آغاز کاهش یافته است. نیمه‌عمر (برحسب روز) ماده چقدر است؟

$$N = \frac{۱}{۸}N_{۰} \quad ، \quad t = ۹ \text{ روز} \quad ، \quad T_{\frac{۱}{۲}} = ?$$

$$N = N_{۰}(\frac{۱}{۲})^{n} \Rightarrow \frac{۱}{۸}N_{۰} = N_{۰}(\frac{۱}{۲})^{n} \Rightarrow n = ۳$$

$$n = \frac{t}{T_{\frac{۱}{۲}}} \Rightarrow ۳ = \frac{۹}{T_{\frac{۱}{۲}}} \Rightarrow T_{\frac{۱}{۲}} = ۳ \text{ روز}$$

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل(۴) ..... صفحهٔ ۱۲۲ تا ۱۲۵ کتاب درسی

(۱) یک لامپ حاوی گاز کم‌فشار سدیم، فوتون‌هایی با طول‌موج ۵۸۹nm گسیل می‌کند.

الف) بسامد و انرژی فوتون‌های گسیلی را حساب کنید. انرژی را برحسب ژول و همچنین الکترون‌ولت بیان کنید.

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{۳\times۱۰^{۸}}{۵۸۹\times۱۰^{-۹}} = ۵۰۹\times۱۰^{۱۲}\,Hz$$

$$E = hf = (۴/۱۴\times۱۰^{-۱۵})\times(۵۰۹\times۱۰^{۱۲}) = ۲/۱eV$$

$$E = (۲/۱eV)(\frac{۱/۶۰\times۱۰^{-۱۹}J}{۱eV}) = ۳/۳۶\times۱۰^{-۱۹}J$$

ب) فرض کنید توان تابشی مفید لامپ ۵/۰W است. در هر دقیقه چند فوتون از این لامپ گسیل می‌شود؟

ابتدا انرژی تابشی لامپ در هر دقیقه را حساب می‌کنیم.

$$E = Pt = ۵\times۶۰ = ۳۰۰J$$

نسبت این انرژی به انرژی هر فوتون ($۳/۳۶\times۱۰^{-۱۹}J$)، تعداد فوتون‌های گسیلی در هر دقیقه است.

$$n = \frac{۳۰۰}{۳/۳۶\times۱۰^{-۱۹}} = ۸/۹۲\times۱۰^{۲۰}$$

تلاشی درسیر موفقیت

@physicsjeffbod

۲ **توان باریکهٔ نور خروجی یک لیزر گازی هلیم نئون ۵/۰mW است. اگر توان ورودی این لیزر ۵۰/۰W باشد،**

الف) بازده لیزر را حساب کنید.

بازده برابر با نسبت توان خروجی به توان ورودی لیزر است.

$$Ra = \frac{P_{\text{خروجی}}}{P_{\text{ورودی}}} = \frac{۵\times۱۰^{-۳}}{۵۰} = ۱\times۱۰^{-۴}$$

ب) اگر طول‌موج باریکهٔ نورخروجی ۶۳۳nm باشد، شمار فوتون‌هایی را پیدا کنید که در هر ثانیه از این لیزر گسیل می‌شود.

ابتدا انرژی هر فوتون را برحسب الکترون‌ولت حساب می‌کنیم:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{۱۲۴۰}{۶۳۳} = ۱/۹۶eV$$

انرژی خروجی لیزر را در هر ثانیه به دست آورده و آن را برحسب یکای الکترون‌ولت می‌نویسیم.

$$E = Pt = ۵\times۱۰^{-۳}\times۱ = ۵\times۱۰^{-۳}J = (۵\times۱۰^{-۳}J)\times(\frac{۱eV}{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}J}) = ۳/۱۲۵\times۱۰^{۱۶}eV$$

نسبت این انرژی به انرژی هر فوتون، شمار فوتون‌های گسیل‌شده در هر ثانیه است.

$$n = \frac{۳/۱۲۵\times۱۰^{۱۶}}{۱/۹۶} = ۱/۵۹\times۱۰^{۱۶}$$

۳ **یک لامپ رشته‌ای با توان ۱۰۰W از فاصلهٔ یک کیلومتری دیده می‌شود. فرض کنید نور لامپ به طور یکنواخت در فضای اطراف آن منتشر می‌شود و بازدهٔ لامپ ۵ درصد است (یعنی ۵W تابش مرئی گسیل می‌کند) و فقط ۱ درصد این تابش دارای طول‌موجی در حدود ۵۵۰nm است. در هر ثانیه چه تعداد فوتون با این طول‌موج وارد مردمک‌های چشم ناظری می‌شود که در این فاصله قرار دارد؟ (قطر مردمک را ۲/۰mm در نظر بگیرید.)**

توان تابش گسیلی لامپ ۵W است. بنابراین در هر ثانیه ۵J انرژی به طور یکنواخت در فضای اطراف لامپ منتشر می‌شود. $(E = ۵J)$ تمام این مقدار انرژی در فاصلهٔ ۱ کیلومتری در سطح کره‌ای به مرکز لامپ و شعاع $R = ۱km$ پخش می‌شود در نتیجه نسبت مقدار انرژی‌ای که در هر ثانیه به سطحی به اندازهٔ دایره‌ای با شعاع $r = ۱mm$ (مردمک چشم) وارد می‌شود به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{E_{eye}}{\pi r^{۲}} = \frac{۵}{۴\pi R^{۲}} \Rightarrow E_{eye} = \frac{۵\times(۱\times۱۰^{-۳})^{۲}}{۴(۱۰^{۳})^{۲}} = ۱/۲۵\times۱۰^{-۱۲}J$$

این مقدار را برحسب eV به صورت مقابل می‌توان نوشت:

$$E_{eye} = (۱/۲۵\times۱۰^{-۱۲}J)(\frac{۱eV}{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}J}) = ۷/۸۱\times۱۰^{۶}eV$$

تنها ۱ درصد از انرژی نوری که به چشم می‌رسد مربوط به تابش با طول‌موج ۵۵۰nm است بنابراین انرژی ورودی به چشم مربوط به این طول‌موج برابر است با:

$$E'_{eye} = \frac{E_{eye}}{۱۰۰} = ۷/۸۱\times۱۰^{۴}eV$$

از طرفی انرژی هر فوتون متناظر با طول‌موج ۵۵۰nm برابر است با:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{۱۲۴۰}{۵۵۰} = ۲/۲۵eV$$

نسبت انرژی ورودی به انرژی هر فوتون برابر با شمار فوتون‌های ورودی است. بنابراین:

$$n = \frac{E_{eye}}{E} = \frac{۷/۸۱\times۱۰^{۴}}{۲/۲۵} = ۳/۴۷\times۱۰^{۴}$$

@physicsjeffbod

۴) شدت تابشی خورشید در خارج جو زمین حدود $۱۳۶۰\frac{W}{m^۲}$ است؛ یعنی در هر ثانیه به سطحی برابر $۱m^۲$، مقدار انرژی $۱۳۶۰J$ 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 $۳۰۰\frac{W}{m^۲}$ باشد، در هر ثانیه چند فوتون به هر متر مربع از سطح زمین می‌رسد؟ طول‌موج متوسط فوتون‌ها را $۵۷۰nm$ فرض کنید.

انرژی متوسط هر فوتون برابر است با:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{۱۲۴۰}{۵۷۰} = ۲/۱۸eV$$

مقدار انرژی که در هر ثانیه به هر متر مربع از زمین می‌رسد برابر است با:

$$E = \frac{(۳۰۰)(۱)}{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}} = ۱/۸۷۵\times۱۰^{۲۱}eV$$

نسبت این انرژی به انرژی هر فوتون، تعداد فوتون‌های ورودی را مشخص می‌کند.

$$n = \frac{۱/۸۷۵\times۱۰^{۲۱}}{۲/۱۸} = ۸/۶\times۱۰^{۲۰}$$

۵) الف) منظور از اثر فوتوالکتریک چیست؟

هنگامی که یک موج الکترومغناطیسی با بسامد مناسب بر سطح یک فلز می‌تابد الکترون‌هایی از آن گسیل می‌شوند. این پدیدهٔ فیزیکی اثر فوتوالکتریک نامیده می‌شود.

ب) توضیح دهید نظریهٔ کوانتومی تابش که توسط اینشتین مطرح شد و در آن نور به صورت مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی در نظر گرفته شد چگونه به تبیین اثر فوتوالکتریک کمک کرد؟

بنابر نظریهٔ کوانتومی اینشتین، امواج الکترومغناطیسی از بسته‌های انرژی به نام فوتون تشکیل شده‌اند به طوری که انرژی هر فوتون از یک موج با بسامد f، برابر با hf است. بر اساس مدل اینشتین، وقتی نوری تکفام با سطح فلزی برخورد می‌کند، هر فوتون تنها با یکی از الکترون‌های فلز برهم‌کنش می‌کند. اگر فوتون به اندازهٔ کافی انرژی داشته باشد، در اثر برهم‌کنش بین الکترون و فوتون، الکترون به صورت آنی از فلز گسیل می‌شود. در این صورت بخشی از انرژی فوتون صرف جدا کردن الکترون از فلز شده و بقیهٔ آن به انرژی جنبشی الکترون خارج‌شده تبدیل می‌شود. به این ترتیب او توانست نشان دهد اگر انرژی لازم برای جدا شدن سست‌ترین الکترون‌ها از فلز $(W_۰)$، بیشتر از انرژی فوتون فرودی باشد $(W_۰ > hf)$، هیچ الکترونی از فلز خارج نمی‌شود و اثر فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد و برای شروع این اثر، بسامد نور فرودی حداقل باید برابر $f_۰ = \frac{W_۰}{h}$ باشد.

۶) توضیح دهید برای یک فلز معین، تغییر هر یک از کمیت‌های زیر چه تأثیری در نتیجهٔ اثر فوتوالکتریک دارد.

الف) افزایش یا کاهش بسامد نور فرودی نسبت به بسامد آستانه

با توجه به معادلهٔ فوتوالکتریک $(K_{max} = hf - W_۰$ یا $K_{max} = hf - hf_۰)$، اگر آزمایش با بسامدی برابر با بسامد آستانه انجام شود $(f = f_۰)$ الکترون بدون هیچ انرژی جنبشی‌ای در آستانهٔ ترک فلز قرار دارد. اگر بسامد نور فرودی را از بسامد آستانه کمتر کنیم $(f < f_۰)$، به دلیل اینکه انرژی فوتون فرودی از تابع کار فلز کمتر شده $(hf < W_۰)$، انرژی لازم برای جدا کردن الکترون‌ها فراهم نمی‌شود و اثر فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد. اما اگر بسامد نور فرودی را از بسامد آستانه بیشتر کنیم $(f > f_۰)$، فوتون‌ها قادر به کندن الکترون‌ها خواهند بود و انرژی جنبشی بیشینهٔ الکترون‌ها غیرصفر خواهد بود $(K_{max} \neq ۰)$ و هر چه بسامد فرودی بیشتر باشد انرژی فوتوالکترون‌ها نیز بیشتر می‌شود.

@physicsjeihoodi

ب) افزایش شدت نور فرودی در بسامدهای کوچک‌تر از بسامد آستانه

با افزایش شدت نور، فقط تعداد فوتون‌های فرودی در واحد زمان افزایش می‌یابد و انرژی هر فوتون (hf) ثابت می‌ماند. بنابراین با توجه به اینکه بسامد نور فرودی کمتر از بسامد آستانه است اثر فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد.

پ) کاهش شدت نور فرودی در بسامدهای بزرگ‌تر از بسامد آستانه

با کاهش شدت نور فرودی، تعداد فوتون‌های فرودی در واحد زمان کاهش می‌یابد، اما انرژی هر فوتون (hf) بدون تغییر است. از آنجایی که بسامد نور فرودی بیشتر از بسامد آستانه است همچنان فوتون‌های فرودی، انرژی لازم برای جداکردن الکترون‌ها از فلز را دارند، اما چون تعدادشان کاهش یافته است از تعداد فوتوالکترون‌هایی که می‌توانند با جذب فوتون از فلز خارج شوند نیز کاسته می‌شود.

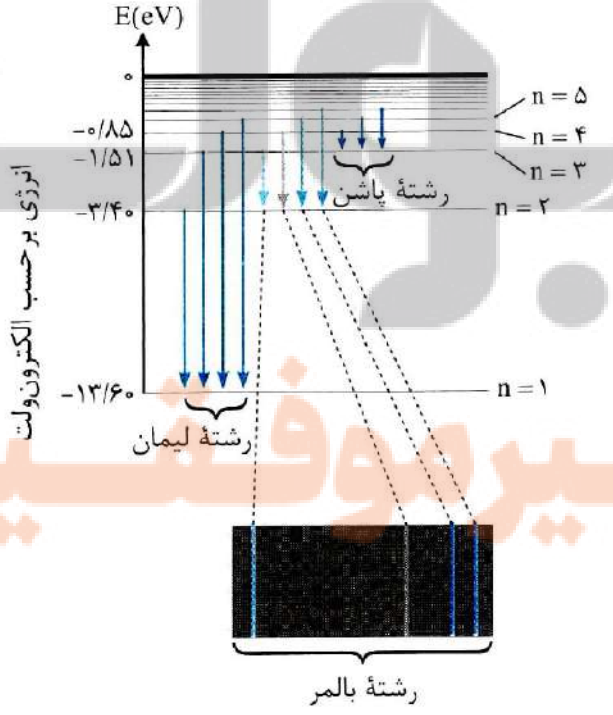
۷ الف) طیف گسیلی یک جسم در چه مواردی پیوسته و در چه مواردی گسسته یا خطی است؟ منشأ فیزیکی این تفاوت را توضیح دهید.

طیف حاصل از تابش گرمایی اجسام جامد همانند رشتهٔ داغ یک لامپ روشن، طیفی پیوسته است و شامل گسترهٔ پیوسته‌ای از طول‌موج‌ها است. تشکیل این طیف ناشی از برهم‌کنش قوی بین اتم‌های سازندهٔ مادهٔ جامد است. اما در گازهای کم فشار و رقیق اتم‌ها منفرد بوده و خبری از برهم‌کنش قوی بین اتم‌ها مانند اجسام جامد نیست. بنابراین طیف اتمی، طیفی گسسته است که تنها طول‌موج‌های معینی را شامل می‌شود و این طول‌موج‌ها برای هر اتمی منحصر به فرد است.

ب) توضیح دهید چگونه می‌توان طیف‌های گسیلی پیوسته و خطی را ایجاد کرد. برای تشکیل طیف گسیلی خطی اتم‌های هر گاز نظیر هیدروژن، جیوه، سدیم و... معمولاً از یک لامپ باریک و بلند شیشه‌ای که حاوی مقداری گاز رقیق و کم فشار است استفاده می‌شود. دو الکترود کاتد و آند که در دو طرف این لامپ قرار دارند به پایانه‌های مثبت و منفی یک منبع تغذیه با ولتاژ بالا متصل‌اند. ولتاژ بالا باعث تخلیه الکتریکی در گاز شده و اتم‌های گاز را وادار به گسیل نور می‌کند.

همهٔ اجسام در هر دمایی که باشند از خود امواج الکترومغناطیسی گسیل می‌کنند، که به آن تابش گرمایی می‌گویند. این تابش گرمایی طیف پیوسته‌ای از امواج الکترومغناطیسی را شامل می‌شود.

۸ شکل زیر سه رشتهٔ طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی را روی نمودار تراز انرژی نشان می‌دهد که بر اساس مدل اتمی بور رسم شده است.



الف) منظور از $n = 1$ و انرژی $-13/6eV$ چیست؟

$n = 1$ اولین مدار مانا در اتم هیدروژن را نشان می‌دهد. در این حالت الکترون در حالت پایه است و کمترین سطح انرژی را دارد که مقدار آن $-13/6eV$ است و نشان می‌دهد اگر بخواهیم الکترون را از حالت پایه به بالاترین حالت برانگیختهٔ ممکن ببریم (الکترون را از اتم جدا کنیم) باید $13/6eV$ انرژی مصرف کنیم.

@physicsjeffbodi

ب) براساس مدل اتمی بور دلیل خطی بودن طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی را توضیح دهید.

مدل اتمی بور بر اساس سه فرض اساسی و اصلی پایه‌ریزی شد:

۱- مدارها و انرژی‌های الکترون‌ها در هر اتم کوانتیده‌اند یعنی فقط مدارها و انرژی‌های گسستهٔ معینی مجاز هستند.

۲- وقتی یک الکترون در یکی از مدارهای مجاز است، هیچ نوع تابش الکترومغناطیسی گسیل نمی‌شود.

۳- الکترون می‌تواند از یک حالت مانا به حالت مانای دیگر برود. هنگام گذار الکترون از یک حالت مانا با انرژی بیشتر به یک حالت با انرژی کمتر، یک فوتون تابش می‌شود که بسامد فوتون تابش‌شده متناسب با اختلاف انرژی بین دو مدار اولیه و نهایی است. $(hf = \Delta E)$

بنابراین با توجه به گسسته بودن مقادیر انرژی برای مدارهای مانای اتم‌ها در گاز هیدروژن، اختلاف انرژی بین مدارهای مختلف و در نتیجه بسامد فوتون‌های گسیلی نیز مقادیر گسسته‌ای خواهند داشت و طیف گسیلی اتم هیدروژن به صورت یک طیف خطی در خواهد آمد.

پ) اختلاف کوتاه‌ترین و بلندترین طول‌موج در هر رشته را، گسترهٔ طول‌موج‌های آن رشته می‌نامند. گسترهٔ طول‌موج‌های رشتهٔ لیمان $(n' = ۱)$ را پیدا کنید.

در رشتهٔ لیمان $n' = ۱$ است در نتیجه بلندترین و کوتاه‌ترین طول‌موج به‌ترتیب متناظر با $n = \infty$ و $n = ۲$ است.

بنابراین با استفاده از شکل صفحهٔ قبل داریم:

$$n' = ۱ , n = ۲ \Rightarrow \Delta E = E_U - E_L = -۳/۴ - (-۱۳/۶) = ۱۰/۲eV$$

$$\Delta E = hf = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{۱۲۴۰}{۱۰/۲} = ۱۲۱nm$$

$$n' = ۱ , n = \infty \Rightarrow \Delta E = E_U - E_L = ۰ - (-۱۳/۶) = ۱۳/۶eV$$

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{۱۲۴۰}{۱۳/۶} = ۹۱nm$$

بنابراین گسترهٔ طول‌موج‌های رشتهٔ لیمان برابر $۱۲۱ - ۹۱ = ۳۰nm$ است.

۹ الف) فرایند جذب فوتون توسط اتم را توضیح دهید.

الکترون‌ها می‌توانند از ترازهای انرژی پایین‌تر به ترازهای انرژی بالاتر بروند. در این حالت اتم فوتونی که دقیقاً انرژی لازم برای گذار بین این دو تراز را دارد جذب می‌کند.

ب) با استفاده از مدل بور، چگونه می‌توانید خط‌های تاریک در طیف جذبی گاز هیدروژن اتمی را توجیه کنید؟

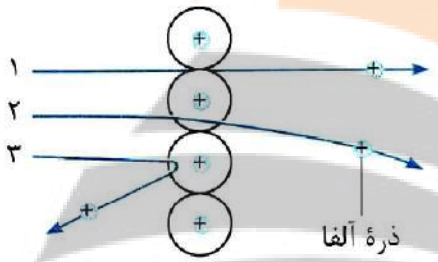
وقتی نور سفید به اتم‌های هیدروژن می‌تابد، آن دسته از فوتون‌هایی که انرژی آنها دقیقاً برابر اختلاف انرژی دو تراز مختلف باشد توسط اتم‌های هیدروژن جذب می‌شوند. به این ترتیب اگر طیف نوری که از گاز هیدروژن عبور می‌کند را تشکیل دهیم به جای طول‌موج‌های جذب‌شده خطوط سیاه به وجود می‌آید.

تلاش در مسیر موفقیت

@physicsjourney

پ) وقتی که نور فرابنفش به بسیاری از مواد تابیده شود، تابش مرئی از خود گسیل می‌کنند. این پدیدهٔ فیزیکی نمونه‌ای از فلوئورسانی است. آزمایش نشان می‌دهد در پدیدهٔ فلوئورسانی 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؟ هنگامی که نور فرابنفش به یک جسم تابیده می‌شود الکترون‌های جسم با جذب فوتون به ترازی منتقل می‌شوند که انرژی آن دقیقاً به اندازهٔ انرژی فوتون جذب‌شده ($\Delta E = hf_{\circ}$) است. این الکترون‌ها تمایل دارند با تابش فوتون انرژی خود را از دست بدهند و دوباره به تراز قبلی خود برگردند. در اینجا ممکن است به جای اینکه مستقیماً به تراز قبلی برگردند با تابش یک یا چند فوتون با انرژی کمتر از $hf_{\circ}$ به ترازهای میانی رفته و سپس به حالت اولیهٔ خود برگردند. با توجه به اینکه انرژی فوتون‌های تابش‌شده کمتر از انرژی فوتون جذب‌شده است، (دقت کنید که بنا به اصل پایستگی انرژی، مجموع انرژی فوتون‌های تابش‌شده باید با انرژی فوتون جذب‌شده برابر باشد.) بنابراین بسامد آنها کوچک‌تر یا مساوی با بسامد فوتون جذب‌شده و طول‌موج آنها بزرگ‌تر یا مساوی با طول‌موج فوتون جذب‌شده خواهد بود.

۱۰ مبنای مدل رادرفورد، نتایج آزمایش‌هایی بود که از پراکندگی ذره‌های آلفا توسط یک ورقهٔ نازک طلا به دست آمده بود (شکل الف).



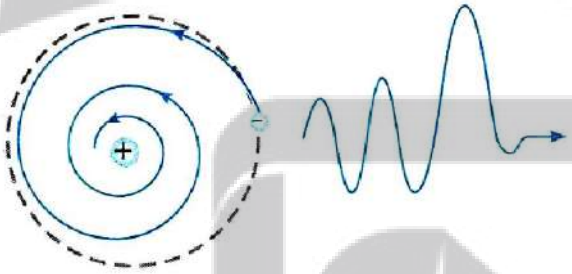
(الف)

الف) توضیح دهید چرا بیشتر ذره‌های آلفا مانند ذره‌های ۱ و ۲ یا اصلاً منحرف نمی‌شوند یا به مقدار کمی منحرف می‌شوند.

بخش اعظمی از اتم را فضای خالی تشکیل می‌دهد.

ب) تنها تعداد بسیار کمی از ذره‌ها مانند ذرهٔ ۳ منحرف می‌شوند.

این امر چه نکته‌ای را دربارهٔ ساختار اتم طلا نشان می‌دهد؟


(ب)

ذره‌های با انحراف شدید از مراکزی بسیار چگال با بار مثبت برگشته‌اند پس بار مثبت اتم باید در فضایی بسیار کوچک متمرکز شده باشد که آن را هستهٔ اتم می‌نامیم؛ یعنی هسته‌ای چگال با بار مثبت در مرکز اتم قرار دارد.

پ) چرا رادرفورد در آزمایش خود از صفحهٔ بسیار نازک طلا استفاده کرده بود؟ اگر ضخامت ورقهٔ مورد استفاده زیاد باشد، به علت همپوشانی هستهٔ اتم‌هایی که در لایه‌های مختلف ورقه در مسیر حرکت ذرات آلفا قرار می‌گیرند، هیچکدام از ذره‌های آلفا نمی‌توانند از ورقه عبور کنند. بنابراین در این شرایط نمی‌توان مدل اتمی تامسون را رد کرد. به همین علت ورقهٔ مورد استفاده باید آنقدر نازک باشد که تنها چند ردیف از اتم‌های ماده در مسیر حرکت ذرات آلفا قرار گیرد. یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد طلا چکش‌خواری بسیار بالای آن است. طوری که می‌توان ورقه‌های بسیار نازک به ضخامت چند اتم از آن ساخت بدون اینکه ورقه‌ها پاره شوند. علاوه بر این، عدد جرمی طلا بسیار زیاد است و می‌تواند به‌سادگی باعث پراکندگی ذرات آلفا شود. به همین دلیل آزمایش پراکندگی رادرفورد با ورقه‌های بسیار نازک از جنس طلا انجام می‌شود.

@physicsjeffbod

ت) شکل ب، به کدام مشکل مدل رادرفورد اشاره دارد؟ در مدل بور چگونه این مشکل رفع شده است؟

اگر الکترون‌ها به دور هسته در چرخش باشند به دلیل شتاب‌دار بودن این حرکت، بنا بر فیزیک کلاسیک باید امواج الکترومغناطیسی تابش کند که بسامد این امواج با بسامد حرکت مداری الکترون برابر است. با تابش موج الکترومغناطیسی توسط الکترون، از انرژی آن کاسته می‌شود. این کاهش انرژی باعث می‌شود که شعاع مدار الکترون به دور هسته به تدریج کوچک‌تر شده و بسامد حرکت آن بیشتر شود. این افزایش تدریجی بسامد حرکت مداری الکترون‌ها سبب می‌شود تا بسامد موج الکترومغناطیسی گسیل شده نیز به تدریج زیاد شود. به این ترتیب باید طیف امواج الکترومغناطیسی گسیل‌شده از اتم پیوسته باشد و الکترون پس از گسیل پی‌درپی امواج الکترومغناطیسی روی هسته فرو افتد. این نتیجه هم با پایداری اتم‌ها و هم طیف خطی گسیل‌شده توسط اتم‌ها مغایرت دارد.

اما بنا بر نظریهٔ بور، الکترون‌ها روی مدارهای مانای مجاز با شعاع انرژی گسسته به دور هسته در حرکتند اما مادامی که روی این مدارهای مانا قرار دارند موج الکترومغناطیسی گسیل نمی‌کنند. در صورتی که الکترون از یک مدار مانا با انرژی بیشتر به مداری با انرژی کمتر گذار کند، یک فوتون تابش می‌شود که انرژی آن با اختلاف انرژی بین دو مدار اولیه و نهایی برابر است، بنابراین مشکل ناپایداری اتم و پیوسته بودن طیف گسیلی آن مرتفع می‌گردد.

(۱۱) با استفاده از رابطهٔ بور برای انرژی الکترون در اتم هیدروژن،

الف) اختلاف انرژی $\Delta E(n_U \to n_L) = E_U - E_L$ را حساب کنید.

$$E_n = \frac{-۱۳/۶}{n^۲} \Rightarrow \Delta E(n_U \to n_L) = E_U - E_L = \frac{-۱۳/۶}{n_U^۲} - \frac{-۱۳/۶}{n_L^۲} = -۱۳/۶(\frac{۱}{n_U^۲} - \frac{۱}{n_L^۲})$$

ب) نشان دهید که: $\Delta E(۴ \to ۲) = \Delta E(۴ \to ۳) + \Delta E(۳ \to ۲)$

$$E_۲ = \frac{-۱۳/۶}{۲^۲} = -۳/۴eV \qquad E_۳ = \frac{-۱۳/۶}{۳^۲} = -۱/۵۱eV \qquad E_۴ = \frac{-۱۳/۶}{۴^۲} = -۰/۸۵eV$$

$$\Delta E(۴ \to ۲) = E_۴ - E_۲ = -۰/۸۵ - (-۳/۴) = ۲/۵۵eV \quad (۱)$$

$$\left.\begin{aligned}\Delta E(۴ \to ۳) &= E_۴ - E_۳ = -۰/۸۵ - (-۱/۵۱) = ۰/۶۶eV \\ \Delta E(۳ \to ۲) &= E_۳ - E_۲ = -۱/۵۱ - (-۳/۴) = ۱/۸۹eV\end{aligned}\right\} \Rightarrow \Delta E(۴ \to ۳) + \Delta E(۳ \to ۲) = ۲/۵۵eV \quad (۲)$$

$$\xrightarrow{(۱)\,,\,(۲)} \Delta E(۴ \to ۲) = \Delta E(۴ \to ۳) + \Delta E(۳ \to ۲)$$

$\Delta E(۴ \to ۱) = \Delta E(۴ \to ۲) + \Delta E(۲ \to ۱)$

$$E_۱ = \frac{-۱۳/۶}{۱^۲} = -۱۳/۶eV \qquad E_۲ = -۳/۴eV \qquad E_۴ = -۰/۸۵eV$$

$$\Delta E(۴ \to ۱) = E_۴ - E_۱ = -۰/۸۵ - (-۱۳/۶) = ۱۲/۷۵eV \quad (۳)$$

$$\left.\begin{aligned}\Delta E(۴ \to ۲) &= ۲/۵۵eV \\ \Delta E(۲ \to ۱) &= E_۲ - E_۱ = -۳/۴ - (-۱۳/۶) = ۱۰/۲eV\end{aligned}\right\} \Rightarrow \Delta E(۴ \to ۲) + \Delta E(۲ \to ۱) = ۱۲/۷۵eV \quad (۴)$$

$$\xrightarrow{(۳)\,,\,(۴)} \Delta E(۴ \to ۱) = \Delta E(۴ \to ۲) + \Delta E(۲ \to ۱)$$

روش دوم:

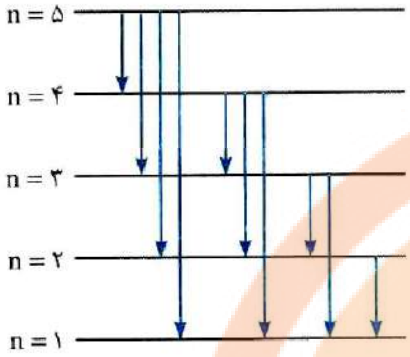
$$\Delta E(۴ \to ۳) + \Delta E(۳ \to ۲) = (E_۴ - E_۳) + (E_۳ - E_۲) = E_۴ - E_۳ + E_۳ - E_۲ = E_۴ - E_۲ = \Delta E(۴ \to ۲)$$

$$\Delta E(۴ \to ۲) + \Delta E(۲ \to ۱) = (E_۴ - E_۲) + (E_۲ - E_۱) = E_۴ - E_۲ + E_۲ - E_۱ = E_۴ - E_۱ = \Delta E(۴ \to ۱)$$

@physicsjeihoodi

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؟

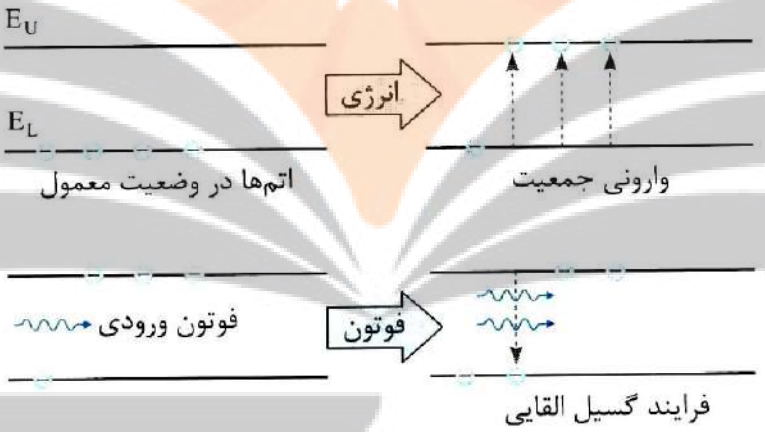


در شکل مقابل احتمال گذار الکترون از تراز $n = ۵$ به ترازهای دیگر با پیکان نمایش داده شده است. تعداد حالت‌های ممکن برای انرژی فوتون‌های گسیل‌شده برابر با تعداد پیکان‌هاست. یعنی ۱۰ نوع فوتون با انرژی مختلف وجود دارد.

ب) فرض کنید فقط گذارهای $\Delta n = ۱$ مجاز باشند، در این صورت امکان گسیل چند نوع فوتون با انرژی متفاوت وجود دارد؟

در این صورت تنها پیکان‌هایی با طول ۱ را به حساب می‌آوریم که مطابق شکل تعداد حالت‌ها برابر ۴ است.

۱۳ شکل زیر فرایند ایجاد باریکهٔ لیزر را به طور طرح وار در ۴ مرحله نشان می‌دهد.



الف) منظور از عبارت «اتم‌ها در وضعیت معمول» چیست؟

به‌طور معمول و در دمای اتاق بیشتر الکترون‌ها در تراز انرژی پایین‌تر قرار دارند.

ب) نقش انرژی داده‌شده چیست و معمولاً این انرژی چگونه تأمین می‌شود؟

انرژی داده‌شده سبب منتقل شدن الکترون‌های اتم‌های ماده به ترازهای انرژی بالاتر می‌شود. این انرژی به روش‌های مختلفی از جمله درخش‌های شدید نور معمولی و یا تخلیه‌های ولتاژ بالا فراهم می‌شود.

پ) منظور از «وارونی جمعیت» چیست؟

وارونی جمعیت الکترون‌ها در محیط لیزری مربوط به وضعیتی است که تعداد الکترون‌ها در ترازهای شبه‌پایدار نسبت به ترازهای پایین‌تر بیشتر باشد.

ت) انرژی فوتون ورودی چقدر باید باشد تا فرایند گسیل القایی انجام شود؟

برای گسیل القایی انرژی فوتون ورودی باید دقیقاً برابر با اختلاف انرژی دو تراز باشد.

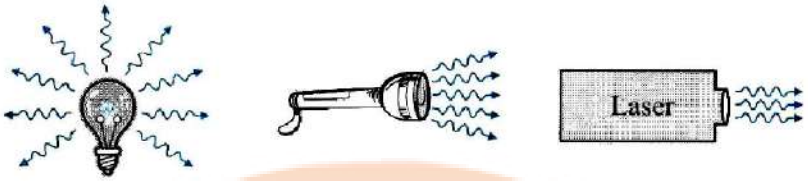
ث) فوتون‌هایی که بر اثر فرایند گسیل القایی و جهش الکترون‌ها به تراز پایین‌تر ایجاد می‌شوند چه ویژگی‌های مشترکی دارند؟

این فوتون‌ها هم‌بسامد، هم‌جهت و هم‌فازند.

تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjet

۱۴ در شکل زیر نحوهٔ گسیل فوتون‌ها از سه چشمهٔ نور شامل لامپ رشته‌ای، چراغ قوه با لامپ رشته‌ای و لیزر با یکدیگر مقایسه شده است.



الف) با توجه به آنچه در این فصل فراگرفتید تفاوت فوتون‌های گسیل‌شده از هر چشمه را با یکدیگر بیان کنید.

نور تولیدشده توسط لامپ به علت داغ شدن رشتهٔ داخل آن به وجود می‌آید، بنابراین طیف گسیلی آن پیوسته است؛ یعنی فوتون‌های تولیدشده بسامدهای مختلف دارند. علاوه بر این، چون گسیل تابش به صورت خودبه‌خودی انجام می‌شود، راستای حرکت فوتون‌ها به صورت کاتوره‌ای بوده و در همهٔ جهت‌ها به صورت تصادفی منتشر می‌شوند.

نور تولیدشده توسط چراغ‌قوه مانند نور لامپ در اثر داغ شدن رشته سیم داخل آن و در اثر گسیل خودبه‌خودی تولید می‌شود، بنابراین بسامد فوتون‌های تولیدشده و جهت انتشار آنها هم متفاوت خواهد بود. البته در چراغ‌قوه با استفاده از آینه‌های بیضوی راستای انتشار فوتون‌ها تا حدی یکسان می‌شود.

اما در لیزر فوتون‌های گسیل‌شده کاملاً هم‌بسامد، هم‌فاز و هم‌جهت هستند.

ب) چرا توصیهٔ جدی می‌شود که هیچ‌گاه به طور مستقیم به باریکهٔ نور ایجاد شده توسط لیزر نگاه نکنید؟

فوتون‌های تولیدشده توسط لیزر به صورت موازی با هم منتشر می‌شوند. شدت موج تابشی حاصل از آنها و در نتیجه انرژی‌ای که در واحد زمان به واحد سطح منتقل می‌کنند. با افزایش فاصله از منبع تولید لیزر تغییری نمی‌کند. علاوه بر این، فوتون‌های تولیدشده در یک باریکهٔ لیزری با یکدیگر هم‌فاز هستند و هنگام برخورد با یک جسم به علت تداخل سازنده‌ای که با هم ایجاد می‌کنند، می‌توانند بسیار مخرب باشند. به همین خاطر نگاه کردن به نور لیزر می‌تواند موجب تخریب اجزای چشم از جمله قرنیه، عدسی و شبکیه شده و باعث بروز مشکلات جدی در بینایی شود.

۱۵ مرتبهٔ بزرگی تعداد نوترون‌هایی را که می‌توان تنگ هم در یک توپ تنیس به شعاع ۳/۲cm جای داد، تخمین بزنید. در این صورت مرتبهٔ بزرگی جرم این توپ چقدر است؟ (مرتبهٔ بزرگی شعاع و جرم نوترون را به‌ترتیب 10^{-15} m و 10^{-27} kg در نظر بگیرید.)

$$r_N = 10^{-15}\,m\ ,\ r_B = 3/2\,cm = 3/2\times10^{-2}\ ,\ m_N = 10^{-27}\,kg\ ,\ n = ?\ ,\ M = ?$$

ابتدا مرتبهٔ بزرگی حجم هر نوترون و توپ تنیس را تخمین می‌زنیم:

حجم نوترون: $V_N = \frac{4}{3}\pi(r_N)^3 = \frac{4}{3}\times3/14\times(10^{-15})^3 = 4/19\times10^{-45} \simeq 10^{-45}\,m^3$

حجم توپ تنیس: $V_B = \frac{4}{3}\pi(r_B)^3 = \frac{4}{3}\times3/14\times(3/2\times10^{-2})^3 = 1/37\times10^{-4} \simeq 10^{-4}\,m^3$

تعداد نوترون‌هایی که می‌توان در توپ جای داد از نسبت حجم توپ به حجم هر نوترون به دست می‌آید. بنابراین:

$$n = \frac{V_B}{V_N} = \frac{10^{-4}}{10^{-45}} = 10^{40}$$

مرتبهٔ بزرگی جرم توپ برابر جرم تمام نوترون‌های موجود در آن است.

$$M = n\times m_N = 10^{41}\times10^{-27} = 10^{14}\,kg$$

@physicsjeihoodi

۱۶ برای $^{۲۰۸}_{۸۲}Pb$ مطلوب است:

الف) تعداد نوکلئون‌ها: تعداد نوکلئون‌ها برابر با تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های موجود در هسته است که همان عدد جرمی را نشان می‌دهد، بنابراین:

$$A = Z + N = ۲۰۸$$

ب) تعداد نوترون‌ها: تعداد نوترون‌ها را می‌توان از اختلاف عدد جرمی و عدد اتمی به دست آورد، بنابراین:

$$N = A - Z = ۲۰۸ - ۸۲ = ۱۲۶$$

پ) بار الکتریکی خالص هسته: بار خالص هسته برابر است با حاصل‌ضرب تعداد پروتون‌های هسته در بار الکتریکی پروتون، بنابراین:

$$q = Ze = ۸۲ \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} = ۱۳۱/۲ \times ۱۰^{-۱۹} C$$

۱۷ **در هر یک از موارد زیر نماد X چه عنصری را نشان می‌دهد و در هستهٔ هر یک چند نوترون وجود دارد؟ در صورت لزوم از جدول تناوبی استفاده کنید.**

الف) $^{۱۹۵}_{۷۸}X$

$$^{۱۹۵}_{۷۸}X \equiv {}^{۱۹۵}_{۷۸}Pt \quad , \quad N = A - Z = ۱۹۵ - ۷۸ = ۱۱۷$$

ب) $^{۳۲}_{۱۶}X$

$$^{۳۲}_{۱۶}X \equiv {}^{۳۲}_{۱۶}S \quad , \quad N = A - Z = ۳۲ - ۱۶ = ۱۶$$

پ) $^{۶۱}_{۲۹}X$

$$^{۶۱}_{۲۹}X \equiv {}^{۶۱}_{۲۹}Cu \quad , \quad N = A - Z = ۶۱ - ۲۹ = ۳۲$$

۱۸ **آیا می‌توان ایزوتوپ $^{۶۱}_{۲۵}X$ را با روش شیمیایی از ایزوتوپ $^{۵۹}_{۲۵}X$ جدا کرد؟ از ایزوتوپ $^{۶۱}_{۲۶}Y$ چطور؟ پاسخ خود را توضیح دهید.**

هسته‌های $^{۶۱}_{۲۵}X$ و $^{۵۹}_{۲۵}X$ ایزوتوپ‌های یک عنصر شیمیایی ($_{۲۵}Mn$) هستند زیرا عدد اتمی یکسان اما تعداد نوترون و عدد جرمی متفاوتی دارند. با توجه به اینکه عدد اتمی خواص شیمیایی هسته را مشخص می‌کند، ایزوتوپ‌ها خواص شیمیایی یکسانی دارند و با روش‌های شیمیایی قابل تفکیک نیستند. اما عدد اتمی $^{۶۱}_{۲۵}X$ و $^{۶۱}_{۲۶}Y$ متفاوت است، بنابراین X و Y مرتبط با دو عنصر شیمیایی مختلف هستند ($_{۲۵}Mn$ ، $_{۲۶}Fe$) و با روش‌های شیمیایی می‌توان آنها را جدا کرد.

۱۹ **جاهای خالی در فرایندهای واپاشی زیر نشان‌دهندهٔ یک یا چند ذرهٔ α ، β^+ یا β^- است. در هر واکنش، جای خالی را کامل کنید.**

$$^{۱۱}_{۶}C \rightarrow {}^{۱۱}_{۵}B + ۲\,{}^{۰}_{+۱}e^{+} \quad \text{یا} \quad \beta^+$$

$$^{۲۱۱}_{۸۲}Pb \rightarrow {}^{۲۱۱}_{۸۳}Bi + {}^{۰}_{-۱}e^{-} \quad \text{یا} \quad \beta^-$$

$$^{۱۸}_{۹}F \rightarrow {}^{۱۸}_{۸}O + {}^{۰}_{+۱}e^{+} \quad \text{یا} \quad \beta^+$$

$$^{۲۳۱}_{۹۰}Th^{*} \rightarrow {}^{۲۳۱}_{۹۰}Th + \gamma$$

۲۰ **هستهٔ دختر به‌دست‌آمده از هر یک از واپاشی‌های زیر را به صورت $^{A}_{Z}X$ مشخص کنید.**

الف) $^{۲۴۲}_{۹۴}Pu$ **واپاشی α انجام دهد.**

$$^{۲۴۲}_{۹۴}Pu \rightarrow {}^{۲۳۸}_{۹۲}U + {}^{۴}_{۲}He$$

ب) سدیم $^{۲۴}_{۱۱}Na$ **واپاشی β^- انجام دهد.**

$$^{۲۴}_{۱۱}Na \rightarrow {}^{۲۴}_{۱۲}C + {}^{۰}_{-۱}e^{-}$$

پ) نیتروژن $^{۱۳}_{۷}N$ **واپاشی β^- انجام دهد.**

$$^{۱۳}_{۷}N \rightarrow {}^{۱۳}_{۸}O + {}^{۰}_{-۱}e^{-}$$

ت) $^{۱۵}_{۸}O$ **واپاشی β^+ انجام دهد.**

$$^{۱۵}_{۸}O \rightarrow {}^{۱۵}_{۷}N + {}^{۰}_{+۱}e^{+}$$

۲۱ **سرب** $^{۲۰۷}_{۸۲}Pb$ **هستهٔ دختر پایداری است که می‌تواند از واپاشی α یا واپاشی β^- حاصل شود. فرایندهای مربوط به هریک از این واپاشی‌ها را بنویسید. در هر مورد هستهٔ مادر را به صورت $^{A}_{Z}X$ مشخص کنید.**

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{۲۰۷}_{۸۲}Pb + {}^{۴}_{۲}He \qquad A = ۲۰۷ + ۴ = ۲۱۱ \qquad Z = ۸۲ + ۲ = ۸۴ \qquad {}^{A}_{Z}X \equiv {}^{۲۱۱}_{۸۴}Po$$

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{۲۰۷}_{۸۲}Pb + {}^{۰}_{-۱}e^{-} \qquad A = ۲۰۷ + ۰ = ۲۰۷ \qquad Z = ۸۲ - ۱ = ۸۱ \qquad {}^{A}_{Z}X \equiv {}^{۲۰۷}_{۸۱}Tl$$

physicsj

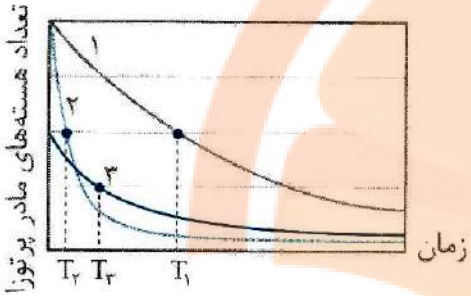
۲۲) نپتونیم $^{۲۳۷}_{۹۳}Np$ ایزوتوپی است که در راکتورهای هسته‌ای تولید می‌شود. این ایزوتوپ ناپایدار است و واپاشی آن از طریق گسیل ذرات α ، β ، α و α صورت می‌گیرد. پس از وقوع تمام این واپاشی‌ها، عدد اتمی و عدد جرمی هستهٔ نهایی چقدر است؟

فرآیند این واپاشی به صورت $^{۲۳۷}_{۹۳}Np \rightarrow X + ۳\alpha + \beta$ است و در واپاشی بتا ذرهٔ گسیل‌شده می‌تواند الکترون یا پوزیترون باشد، بنابراین ۲ حالت مختلف خواهیم داشت:

حالت اول واپاشی با β^-: $^{۲۳۷}_{۹۳}Np \rightarrow ^{A}_{Z}X + ۳(^{۴}_{۲}He) + ^{۰}_{-۱}e^- \Rightarrow \begin{cases} ۲۳۷ = A + (۳\times۴) + ۰ \Rightarrow A = ۲۲۵ \\ ۹۳ = Z + (۳\times۲) - ۱ \Rightarrow Z = ۸۸ \end{cases}$

حالت دوم واپاشی با β^+: $^{۲۳۷}_{۹۳}Np \rightarrow ^{A}_{Z}X + ۳(^{۴}_{۲}He) + ^{۰}_{+۱}e^+ \Rightarrow \begin{cases} ۲۳۷ = A + (۳\times۴) + ۰ \Rightarrow A = ۲۲۵ \\ ۹۳ = Z + (۳\times۲) + ۱ \Rightarrow Z = ۸۶ \end{cases}$

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.



از روی نمودار، زمانی را که تعداد هسته‌های مادر پرتوزای هر نمونه، نصف مقدار اولیه می‌شود پیدا می‌کنیم، بنابراین خواهیم داشت: $T_۲ < T_۳ < T_۱$

۲۴) هنگامی که نیتروژن جوّ زمین توسط پرتوهای کیهانی (که معمولاً از جنس پروتون، ذره‌های α 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 در هم 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 جوّ می‌شود.

اتم‌های کربن جوّی از طریق فعالیت‌های بیولوژیکی از قبیل فتوسنتز و تنفس، به نحو 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 نمونهٔ زغال قدیمی، ۱/۵۶ درصد (معادل $\frac{۱}{۶۴}$) مقدار عادی کربن ۱۴ موجود در زغالی است که تازه تولید شده است. سن تقریبی این زغال قدیمی چقدر است؟

ابتدا تعداد نیمه‌عمرهای گذشته را محاسبه می‌کنیم:

$$N = \frac{N_۰}{۶۴} = N_۰(\frac{۱}{۲})^n \Rightarrow n = ۶$$

با توجه به اینکه هر نیمه‌عمر ۵۷۳۰ سال است سن زغال را محاسبه می‌کنیم.

$$n = \frac{t}{T_{\frac{۱}{۲}}} \Rightarrow t = nT_{\frac{۱}{۲}} = ۶\times۵۷۳۰ = ۳۴۳۸۰ \text{ سال}$$

۲۵) نیمه‌عمر بیسموت ۲۱۲ حدود ۶۰ دقیقه است. پس از گذشت چهار ساعت، چه کسری از مادهٔ اولیه، در نمونه‌ای از این بیسموت، باقی می‌ماند؟

$$T_{\frac{۱}{۲}} = ۶۰\,min = ۱h \quad ، \quad t = ۴h$$

ابتدا تعداد نیمه‌عمرهای سپری‌شده را محاسبه می‌کنیم.

$$n = \frac{t}{T_{\frac{۱}{۲}}} = \frac{۴}{۱} = ۴$$

به این ترتیب مقدار مادهٔ باقی‌مانده به صورت روبه‌رو محاسبه می‌شود.

$$N_۰ = (\frac{۱}{۲})^n = N_۰(\frac{۱}{۲})^۴ = \frac{۱}{۱۶}N_۰$$

در نتیجه مقدار مادهٔ باقی‌مانده $\frac{۱}{۱۶}$ مادهٔ اولیه خواهد بود.

تلاشی درمسیر موفقیت