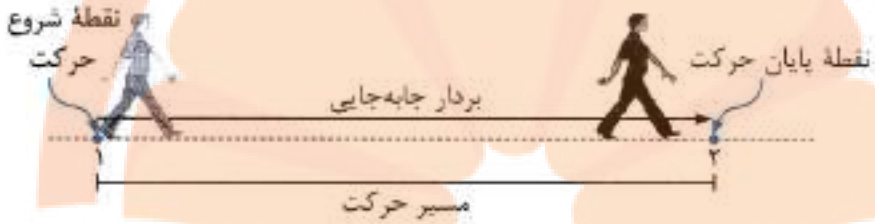
@physicsjeroodi

فصل ۱: حرکت بر خط راست

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.

تلاشی تا مسیر موفقیت

@physicsjeroodi

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:

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

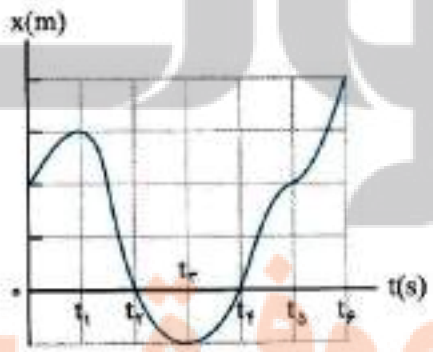
بنابراین اندازهٔ بردار جابه‌جایی با مسافت طی‌شده باید با هم برابر باشد. یعنی متحرک باید روی مسیر مستقیم و بدون تغییر جهت حرکت کند.

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.

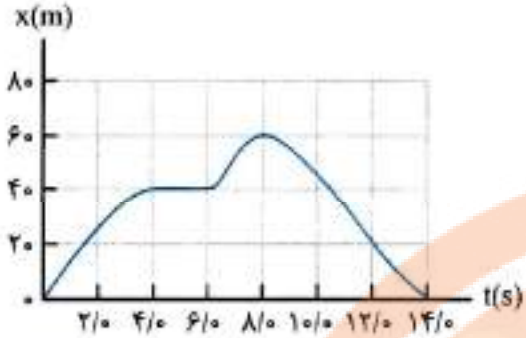
ت) جهت حرکت چند بار تغییر کرده است؟ در چه لحظه‌هایی؟ دو بار در لحظه‌های t_1 و t_3

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.

@physicsjafroodi

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 $t = 8s$

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.

پاسخ

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:

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

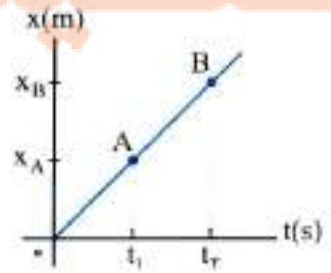
بازهٔ زمانی ۰/۰s تا ۱۴/۰s:

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

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.

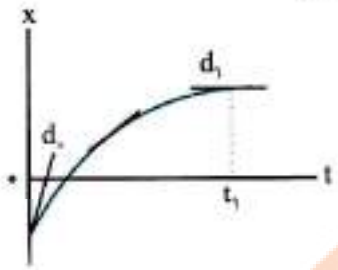


هرگاه نمودار مکان-زمان به صورت یک خط راست باشد، شیب نمودار همواره ثابت است؛ بنابراین همواره سرعت لحظه‌ای متحرک با سرعت متوسط آن برابر است. برای مثال نمودار مکان-زمان زیر را در نظر بگیرید. شیب خط مماس بر این نمودار در تمام نقاط بین A و B با شیب خط عبوری از نقاط A و B (v_{av}) برابر است.

@physicsjeroodi

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؟

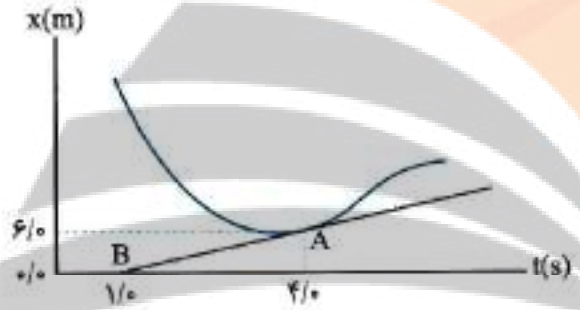
اگر در زمان‌های بین دو لحظهٔ $t=0$ و $t=t_1$، بر نمودار مکان-زمان متحرک مماس‌هایی رسم کنیم، می‌بینیم که با افزایش زمان، شیب خط مماس کمتر می‌شود؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت سرعت متحرک در حال کاهش است.

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 $t=4/0s$ رسم شده است. سرعت متحرک را در این لحظه پیدا کنید.



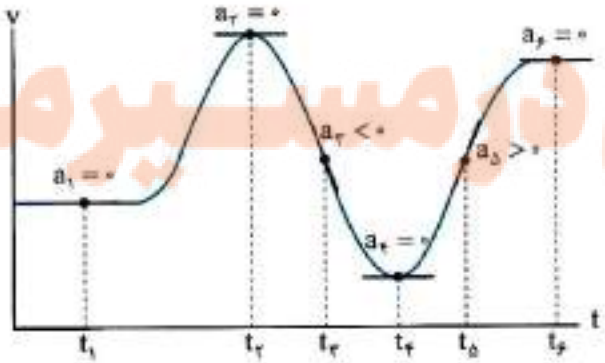
شیب خط مماس بر نمودار مکان - زمان نشان‌دهندهٔ سرعت لحظه‌ای است.

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

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

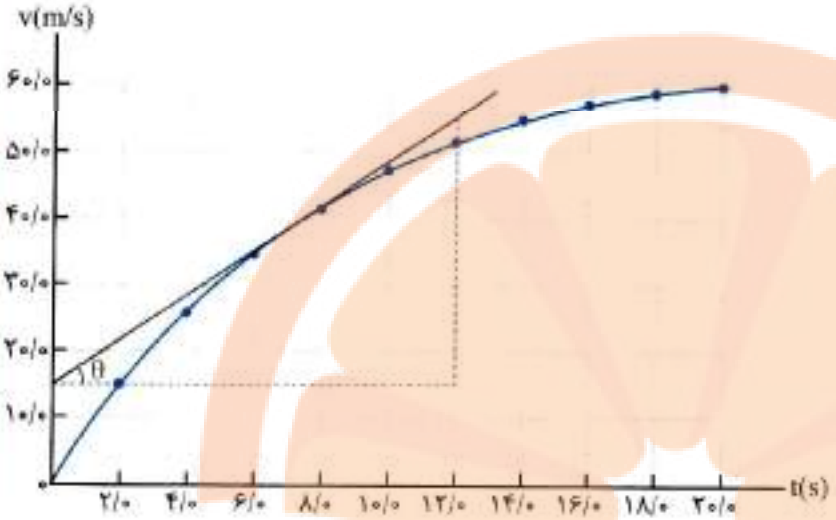
@physicsjeroodi

صفحهٔ ۱۲ کتاب درسی

تمرین(۱-۴)

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.

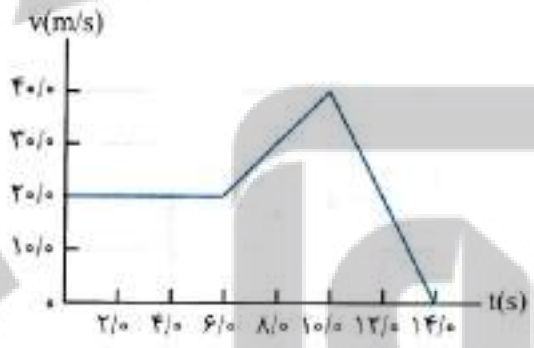
در لحظهٔ $t = ۸s$، خط مماس بر نمودار $v - t$ را رسم و شیب آن را محاسبه می‌کنیم.

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

صفحهٔ ۱۳ کتاب درسی

تمرین(۱-۵)

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.

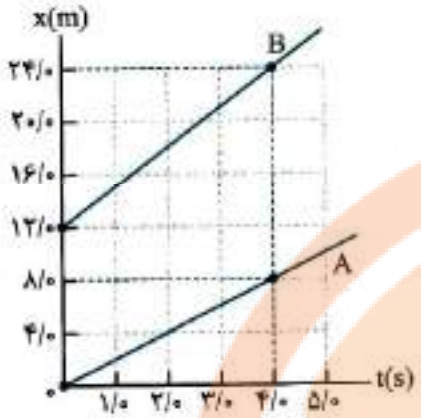
$$a = a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۰ - ۴۰}{۱۴ - ۱۰} = -۱۰ \frac{m}{s^۲}$$

تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjeroodi

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: $x_0 = 0m \ , \ x = 8m \ , \ t = 4s$

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

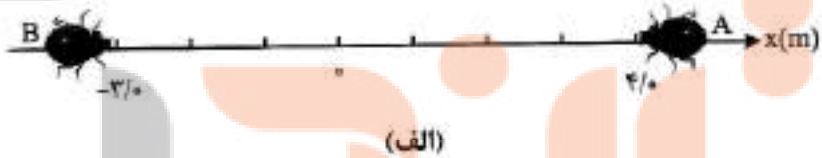
برای متحرک B داریم: $x_0 = 12m \ , \ x = 24m \ , \ t = 4s$

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

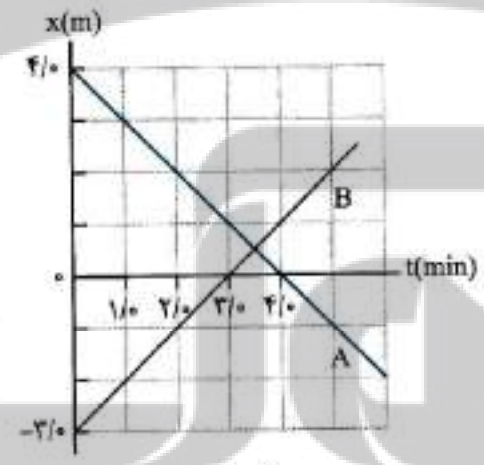
تمرین (۱-۷) ..... صفحهٔ ۱۴ و ۱۵ کتاب درسی

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 $t = 3/5 \, min$ و $x = 0/5m$ 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: $x_0 = -3m \ , \ x = 0m \ , \ t = 3min$

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

تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjeirodi

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

$$x_A = x_B \Rightarrow -t + 4 = t - 3 \Rightarrow 2t = 7 \Rightarrow t = 3/5\,min$$

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

$$x_B = t - 3 \xrightarrow{t=3/5\,min} x_B = (3/5) - 3 = -0/5m \quad \text{یا} \quad x_A = -t + 4 \xrightarrow{t=3/5\,min} x_A = -3/5 + 4 = 0/5m$$

تمرین (۱-۸) صفحهٔ ۱۶ کتاب درسی

معادلهٔ سرعت-زمان متحرکی که در امتداد محور x حرکت می‌کند در SI به صورت $v = -1/8t + 2/2$ است.

الف) سرعت متحرک در لحظهٔ $t = 4/0s$ چقدر است؟

با جایگذاری $t = 4s$ در معادلهٔ سرعت-زمان می‌توانیم سرعت متحرک را در آن لحظه به دست آوریم:

$$v = -1/8t + 2/2 \xrightarrow{t=4} v = -1/8(4) + 2/2 = -5\frac{m}{s}$$

ب) سرعت متوسط متحرک و جابه‌جایی آن در بازهٔ زمانی صفر تا $t = 4/0s$ چقدر است؟

متحرک با شتاب ثابت حرکت نموده است زیرا معادله سرعت - زمان آن از معادلهٔ $v = at + v_0$ پیروی می‌کند. با توجه به معادلهٔ سرعت-زمان می‌توان شتاب و سرعت اولیهٔ متحرک را محاسبه کرد:

$$\left.\begin{matrix} v = at + v_0 \\ v = -1/8t + 2/2 \end{matrix}\right\} \Rightarrow a = -1/8\frac{m}{s^2},\ v_0 = 2/2\frac{m}{s}$$

برای محاسبهٔ سرعت متوسط در حرکت با شتاب ثابت داریم:

$$v_{av} = \frac{v_0 + v}{2} \xrightarrow{v_0=2/2\frac{m}{s},\ v=-5\frac{m}{s}} v_{av} = \frac{2/2 - 5}{2} = -1/4\frac{m}{s}$$

جابه‌جایی متحرک تا لحظه $t = 4/0s$ برابر است با:

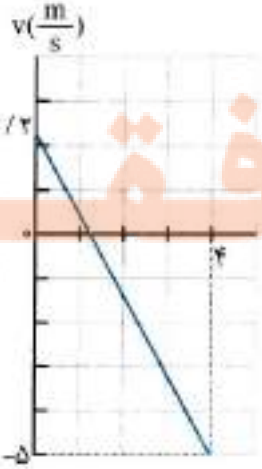
$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow -1/4 = \frac{\Delta x}{4} \Rightarrow \Delta x = -5/6m$$

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.

$$t = 0s \Rightarrow v_0 = 2/2\frac{m}{s}$$

$$t = 4s \Rightarrow v = -5\frac{m}{s}$$

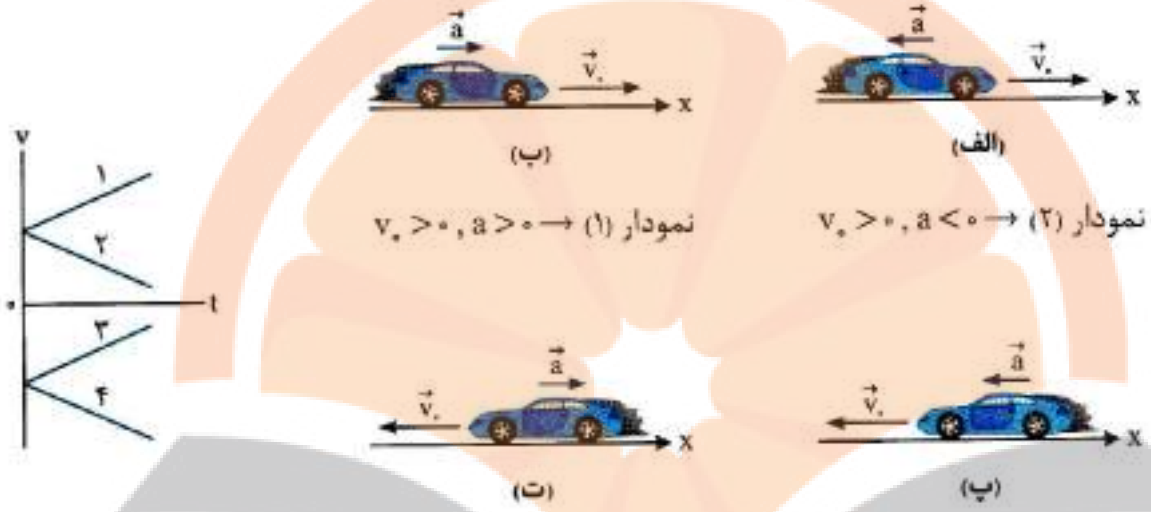


تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjelroodi

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

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

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؟

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

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:

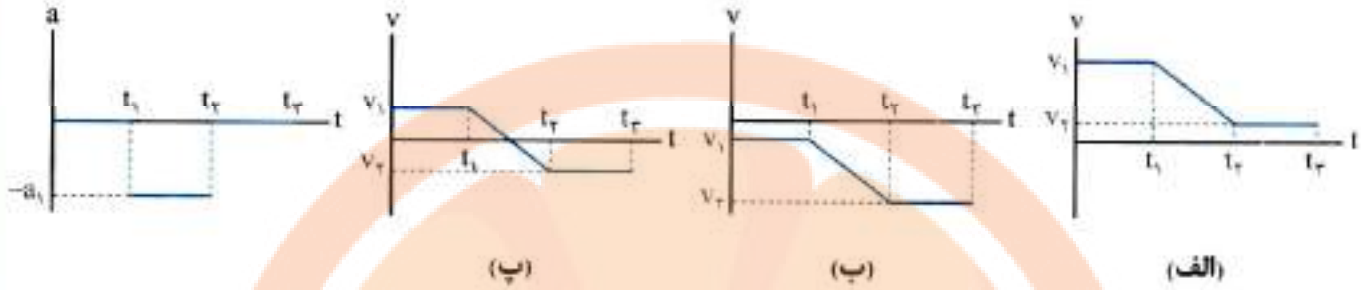
$$v = at + v_0 \xrightarrow{t=20s} v = 1(20) + 5 = 25\frac{m}{s}$$

تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjeroodi

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:

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

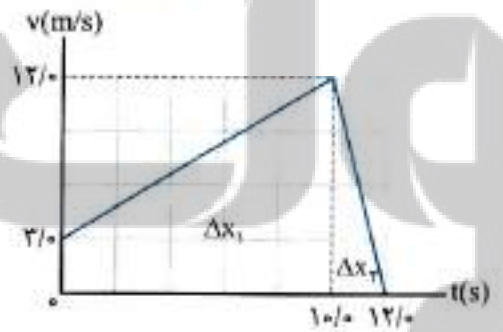
۱- اگر سرعت اولیهٔ متحرک (v_1) منفی باشد، در بازهٔ زمانی t_1 تا t_2 از سرعت آن کاسته شده و در انتهای این بازهٔ زمانی همچنان سرعت متحرک (v_2) منفی باقی خواهد ماند. (نمودار ب)

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 در مسیر موفقیت

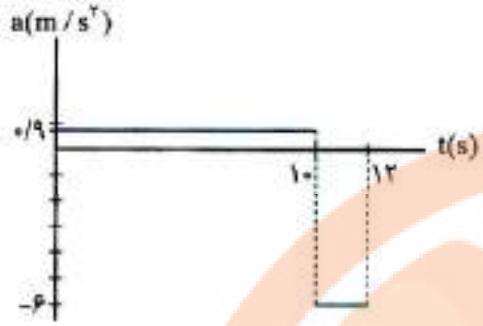
@physicsjeffoodi

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.

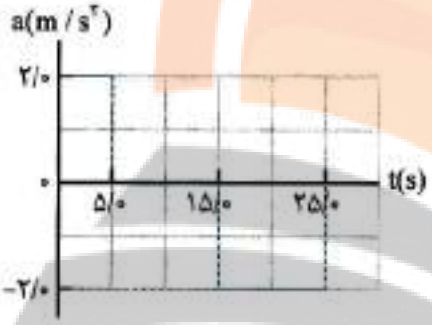


بازهٔ زمانی صفر تا ۱۰s: $a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_1 - v_0}{t_1 - t_0} = \frac{۱۲ - ۳}{۱۰ - ۰} = ۰/۹ \frac{m}{s^۲}$

بازهٔ زمانی ۱۰s تا ۱۲s: $a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{۰ - ۱۲}{۱۲ - ۱۰} = -۶ \frac{m}{s^۲}$

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 $x_0 = ۰$ و $v_0 = ۰$ در بازهٔ زمانی صفر تا ۲۵/۰s .



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

در بازهٔ زمانی 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:

$$x = \frac{۱}{۲}at^۲ + v_0 t + x_0 \xrightarrow[a = ۲ \frac{m}{s^۲}]{v_0 = ۰ \frac{m}{s},\ x_0 = ۰m} x = t^۲ \xrightarrow{t = ۵s} x = ۵^۲ = ۲۵m$$

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:

$$x = v\Delta t + x_0 \xrightarrow{x_0 = ۲۵m,\ v = ۱۰ \frac{m}{s}} x = ۱۰\Delta t + ۲۵ \xrightarrow{\Delta t = ۱۵ - ۵ = ۱۰s} x = ۱۲۵m$$

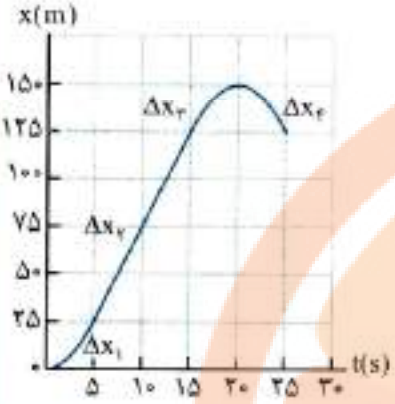
بنابراین نمودار مکان-زمان در بازهٔ زمانی ۵s تا ۱۵s به صورت خطی صاف خواهد بود و مکان متحرک در لحظهٔ $t = ۱۵s$ برابر ۱۲۵ است.

تلاش در مسیر موفقیت

@physicsjelfoodi

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 براین شیب خط مماس در لحظه‌های $t = 5s$، $t = 15s$ و تمام بازهٔ زمانی ۵s تا ۱۵s 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 ۵s : تندی در حال افزایش، در نتیجه حرکت تندشونده است.

در بازهٔ زمانی ۵s تا ۱۵s: حرکت با سرعت ثابت است.

در بازهٔ زمانی ۱۵s تا ۲۰s : تندی در حال کاهش و در نتیجه حرکت کندشونده است.

در بازهٔ زمانی ۲۰s تا ۲۵s : تندی در حال افزایش و در نتیجه حرکت تندشونده است.

پ) شتاب متوسط ماشین را پیدا کنید.

با توجه به نمودار سرعت-زمان داریم:

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

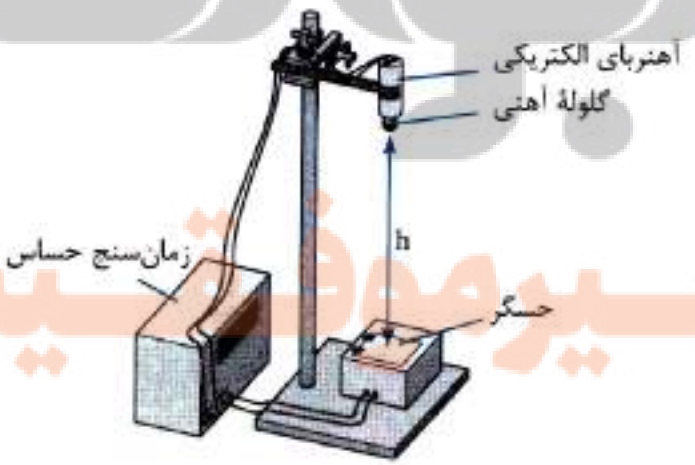
ت) جابه‌جایی ماشین را پیدا کنید.

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

تمرین (۱-۱۲) صفحهٔ ۲۴ کتاب درسی

شکل مقابل اسباب انجام آزمایش ساده‌ای را نشان می‌دهد که به کمک آن می‌توان شتاب گرانش را در محل آزمایش اندازه گرفت.

الف) به نظر شما این وسیلهٔ آزمایش چگونه کار می‌کند؟



با قطع جریان الکتریکی، زمان‌سنج به کار می‌افتد. از طرفی میدان مغناطیسی در آهنربای الکتریکی نیز از بین رفته و گلوله از ارتفاع h رها می‌شود و آزادانه سقوط می‌کند. هنگام عبور گلوله از داخل حسگر، یک پالس الکتریکی ایجاد شده و به زمان‌سنج فرستاده می‌شود و آن را متوقف می‌کند. به این طریق می‌توان زمان سقوط گلوله از ارتفاع h و با استفاده از معادلات حرکت سقوط آزاد، شتاب گرانش زمین را محاسبه کرد.

@physicsjeiroodi

ب) در یک آزمایش نوعی، داده‌های زیر به دست آمده است: $t = ۰/۲۳s$ و $h = ۰/۲۷m$

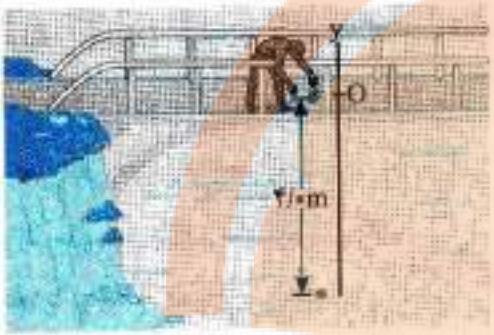
با توجه به این داده‌ها، اندازهٔ شتاب گرانش در محل آزمایش چقدر به دست می‌آید؟

محل رها شدن گلوله را مبدأ حرکت $y_۰ = ۰$ در نظر می‌گیریم. آنگاه داریم:

$$y = -\frac{۱}{۲}gt^۲ + y_۰ \Rightarrow -h = -\frac{۱}{۲}gt^۲ \Rightarrow g = \frac{۲h}{t^۲} = \frac{۲\times(۰/۲۷)}{(۰/۲۳)^۲} = ۱۰/۲\frac{m}{s^۲}$$

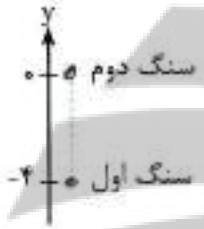
تمرین(۱-۱۳)

صفحهٔ ۲۴ کتاب درسی



شکل مقابل شخصی را نشان می‌دهد که ابتدا سنگی را از بالای پلی به داخل رودخانه‌ای رها کرده است. وقتی سنگ مسافت ۴/۰m را طی می‌کند سنگ دیگری دوباره از همان ارتفاع توسط شخص رها می‌شود. توضیح دهید آیا با گذشت زمان و تا قبل از برخورد سنگ اول به سطح آب رودخانه، فاصلهٔ بین دو سنگ کاهش یا افزایش می‌یابد یا تغییری نمی‌کند.

هنگامی که سنگ اول ۴ متر سقوط می‌کند، سنگ دوم رها می‌شود؛



بنابراین با استفاده از معادلات حرکت سقوط آزاد می‌توانیم اختلاف زمان رها شدن دو سنگ را به دست آوریم. با در نظر گرفتن جهت مثبت روبه بالا و انتخاب محل و زمان رها شدن سنگ اول به عنوان مبدأ مکان و زمان، داریم:

$$y_۱ = -\frac{۱}{۲}gt^۲ + y_۰ \xrightarrow[y_۰=۰]{y_۱=-۴m} -۴ = -۵t^۲ \Rightarrow t^۲ = \frac{۴}{۵} \Rightarrow t = \frac{۲\sqrt{۵}}{۵}s$$

بنابراین سنگ دوم $\frac{۲\sqrt{۵}}{۵}$ ثانیه بعد از سنگ اول رها شده است. بنابراین معادلهٔ مکان-زمان سقوط آن به صورت زیر است:

$$y_۲ = -\frac{۱}{۲}g(t-\frac{۲\sqrt{۵}}{۵})^۲ + y_۰ \xrightarrow{y_۰=۰} y_۲ = -۵(t^۲ + \frac{۴}{۵} - \frac{۴\sqrt{۵}}{۵}t) = -۵t^۲ + ۴\sqrt{۵}t - ۴$$

فاصلهٔ بین دو سنگ در هر لحظه برابر است با $y_۲ - y_۱$، بنابراین خواهیم داشت:

$$y_۲ - y_۱ = (-۵t^۲ + ۴\sqrt{۵}t - ۴) - (-۵t^۲) = ۴\sqrt{۵}t - ۴$$:فاصلهٔ بین سنگ‌ها

همان‌طور که پیداست با افزایش زمان، فاصلهٔ بین دو سنگ با سرعت $۴\sqrt{۵}\frac{m}{s}$ افزایش پیدا می‌کند.

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل(۱)

صفحهٔ ۲۵ تا ۲۸ کتاب درسی

۱ با توجه به داده‌های نقشهٔ شکل زیر،

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

$$t = ۸۰min = ۴/۸\times۱۰^۳s$$

$$s_{av} = \frac{l}{\Delta t} \Rightarrow s_{av} = \frac{۸۸\times۱۰^۳}{۴/۸\times۱۰^۳} = ۱۸/۳\frac{m}{s}$$

$$v_{av} = \frac{d}{\Delta t} = \frac{۶۰\times۱۰^۳}{۴/۸\times۱۰^۳} = ۱۲/۵\frac{m}{s}$$ به سمت شمال غرب

@physicsjafroodi

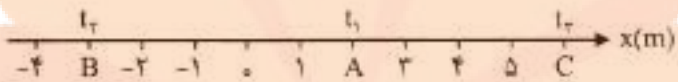
ب) مفهوم فیزیکی این دو کمیت چه تفاوتی با یکدیگر دارد؟

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.

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

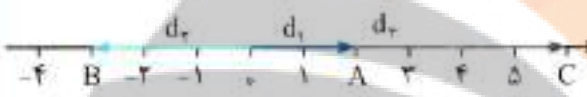
اگر مسیر حرکت خودرو روی خط واصل بین دو شهر باشد و خودرو بدون تغییر جهت فاصلهٔ مستقیم بین دو شهر را طی کند، اندازهٔ مسافت طی‌شده و جابه‌جایی تقریباً با هم برابر و در نتیجه تندی متوسط و اندازهٔ سرعت متوسط تقریباً با هم برابر خواهد شد.

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.



$\vec{d}_1 = 2\vec{i}$ $\quad \vec{d}_2 = -3\vec{i}$ $\quad \vec{d}_3 = 6\vec{i}$

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

بازهٔ زمانی t_1 تا t_2:

$$\vec{d} = \vec{d}_2 - \vec{d}_1 = (-3-2)\vec{i} = -5\vec{i}$$

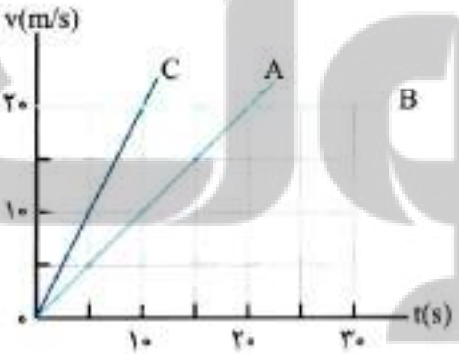
بازهٔ زمانی t_2 تا t_3:

$$\vec{d} = \vec{d}_3 - \vec{d}_2 = (6-(-3))\vec{i} = 9\vec{i}$$

بازهٔ زمانی t_1 تا t_3:

$$\vec{d} = \vec{d}_3 - \vec{d}_1 = (6-2)\vec{i} = 4\vec{i}$$

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:

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

$$a_A = a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{20-0}{20-0} = 1\frac{m}{s^2} \qquad a_B = a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = 0\frac{m}{s^2} \qquad a_C = a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{20-0}{10-0} = 2\frac{m}{s^2}$$

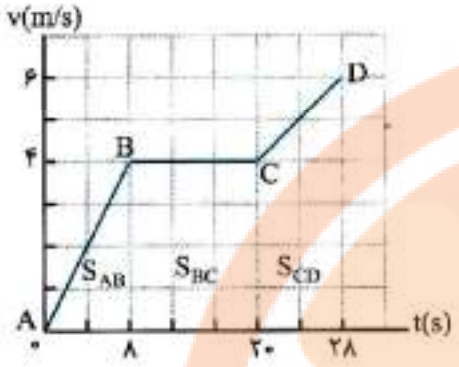
تلاشی در جهت موفقیت

@physicsjeroudi

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:

$$\Delta x_A = \frac{1}{2}(10\times 10) = 50\text{m} \qquad \Delta x_B = 20\times 10 = 200\text{m} \qquad \Delta x_C = \frac{1}{2}(20\times 10) = 100\text{m}$$

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: $a = a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{4-0}{8-0} = \frac{1}{2}\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

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

در مرحلهٔ CD: $a = a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{6-4}{28-20} = \frac{1}{4}\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

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

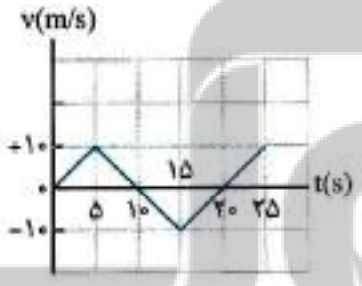
$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{6-0}{28-0} = \frac{3}{14}\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

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

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

$$\Delta x_T = S_{AB} + S_{BC} + S_{CD} = (\frac{1}{2}\times 4\times 8) + (4\times 12) + (\frac{4+6}{2}\times 8) = 16 + 48 + 40 = 104\text{m}$$

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



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

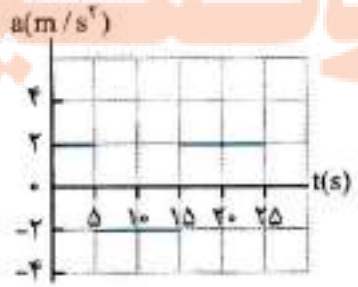
ابتدا شتاب هر مرحله را محاسبه می‌کنیم. دقت کنید که در هریک از بازه‌های زمانی زیر شتاب ثابت و برابر با شتاب متوسط است.

بازهٔ زمانی ۰s تا ۵s: $a = a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{10-(0)}{5} = \frac{10}{5} = 2\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

بازهٔ زمانی ۵s تا ۱۵s: $a = a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-10-10}{15-5} = \frac{-20}{10} = -2\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

بازهٔ زمانی ۱۵s تا ۲۵s: $a = a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{10-(-10)}{25-15} = \frac{20}{10} = 2\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

اکنون می‌توانیم نمودار شتاب-زمان متحرک را رسم کنیم.



تلاشی در مسیر موفقیت

@physicsjafroodi

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: $x_0 = 40m \ , \ v_0 = 0\frac{m}{s} \ , \ a = -2\frac{m}{s^2}$

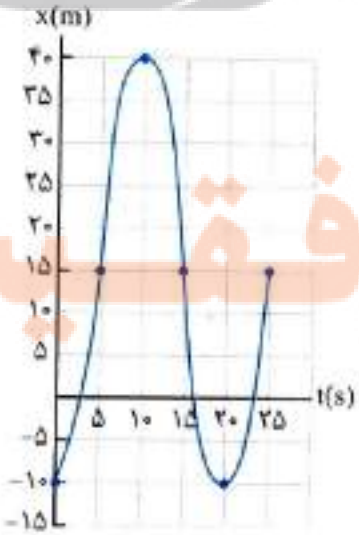
$$x = \frac{1}{2} \times (-2)(\Delta t)^2 + 0 + 40 \xrightarrow{\Delta t=5s} x = \frac{1}{2}(-2)(5)^2 + 40 = 15m$$

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: $x_0 = -10m \ , \ v_0 = 0\frac{m}{s} \ , \ a = 2\frac{m}{s^2}$

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

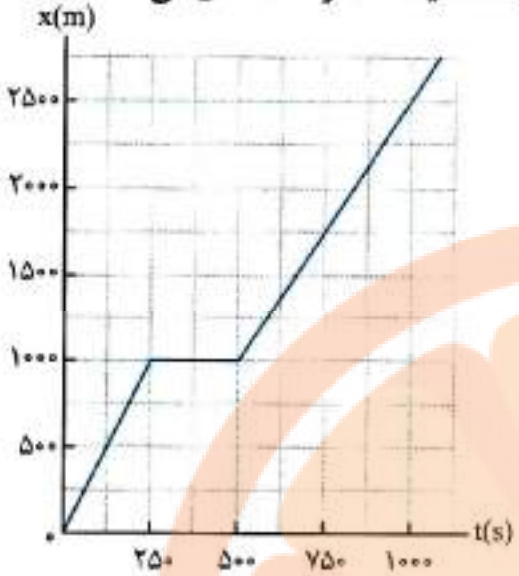


هنگام رسم نمودار مکان-زمان دقت کنید که مماس بر نمودار در لحظه‌هایی که سرعت متحرک صفر است، یعنی زمان‌های ۰s، ۱۰s و ۲۰s باید موازی با محور زمان باشد (شیب خط مماس بر نمودار صفر باشد).

تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjafroodi

۶) **شکل زیر نمودار مکان-زمان حرکت یک دونده 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.

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

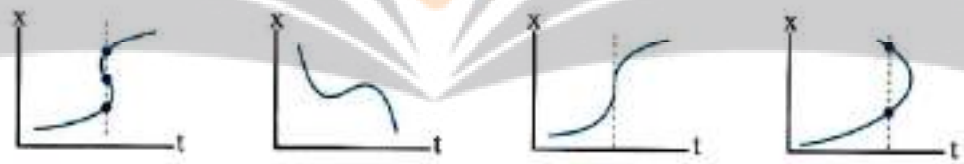
ت) سرعت دونده را در بازهٔ زمانی ۵۰۰s تا ۱۰۰۰s حساب کنید.

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

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

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

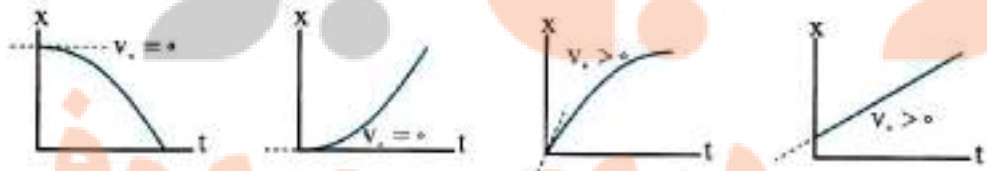
۷) **توضیح دهید کدام‌یک از نمودارهای مکان-زمان شکل زیر می‌تواند نشان‌دهندهٔ نمودار x − t یک متحرک باشد.**



(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.**



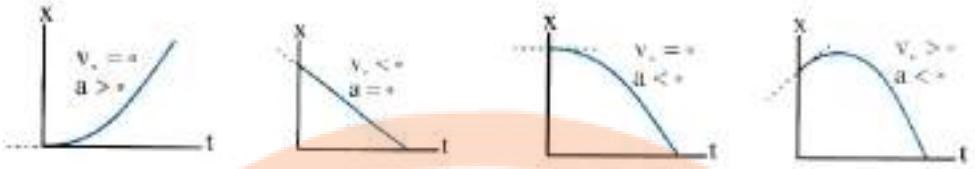
(ت) (پ) (ب) (الف)

شیب خط مماس بر نمودار x − t در t = ۰ 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

@physicsjeipodr

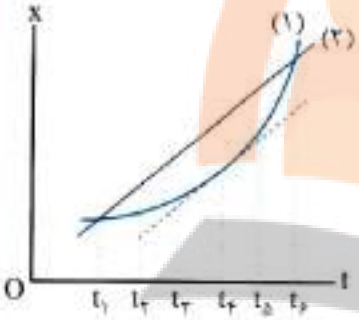
۹ **توضیح دهید کدام‌یک از نمودارهای مکان-زمان نشان داده‌شده، حرکت متحرکی را توصیف می‌کند که سرعت اولیهٔ آن در جهت محور x و شتاب آن برخلاف جهت محور x است.**



(الف) ✗ (ب) ✗ (پ) ✓ (ت) ✗

در نمودار الف، شیب خط مماس بر نمودار در لحظهٔ $t = 0$ مثبت است یعنی سرعت اولیه در جهت مثبت محور x است $(v_0 > 0)$. با توجه به اینکه تقعر نمودار رو به پایین است، شتاب در خلاف جهت محور xهاست $(a < 0)$.

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

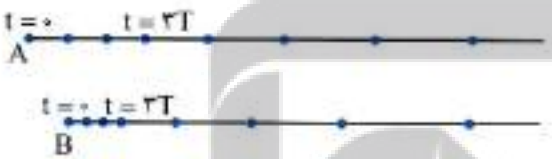


الف) در چه لحظه‌هایی دو خودرو از کنار یکدیگر می‌گذرند؟ در لحظات t_1 و t_4 دو متحرک از کنار هم عبور می‌کنند زیرا هم‌مکان هستند.

ب) در چه لحظه‌ای تندی دو خودرو تقریباً یکسان است؟ شیب خط مماس بر نمودار (۱) در لحظهٔ t_4 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_1 تا t_4 با هم مقایسه کنید. در بازهٔ t_1 تا t_4، جابه‌جایی (Δx) و مدت زمان جابه‌جایی (Δt) برای هر دو خودرو یکسان و در نتیجه سرعت متوسط آنها برابر است.

۱۱ **هر یک از شکل‌های زیر مکان یک خودرو را در لحظه‌های $t = 0$، $t = T$، $t = 2T$، ... و $t = 7T$ نشان می‌دهد. هر دو خودرو در لحظهٔ $t = 3T$ شتاب می‌گیرند. توضیح دهید،**



الف) سرعت اولیهٔ کدام خودرو بیشتر است.

هر دو خودرو تا زمان $t = 3T$ با سرعت ثابت حرکت کرده‌اند؛ بنابراین سرعت لحظه‌ای هر کدام از آنها در بازهٔ زمانی ۰ تا $3T$ 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 $6T$ تا $7T$ 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 $t = 3T$، سرعت خودروی B کمتر از سرعت خودروی A بوده اما در زمان $t = 7T$ سرعت خودروی B بیشتر از سرعت خودروی A است؛ بنابراین افزایش سرعت (Δv) خودروی B در بازهٔ زمانی $3T$ تا $7T$ 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.

@physicsjelfoodi

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

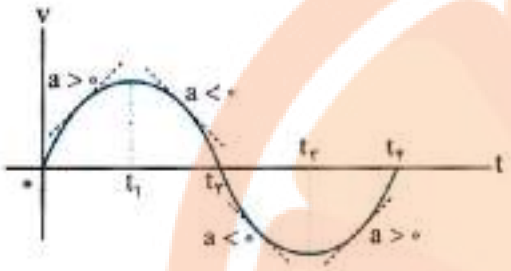
الف) مکان متحرک را در $t = 0s$ و $t = 2s$ به دست آورید.

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

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_2: 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.

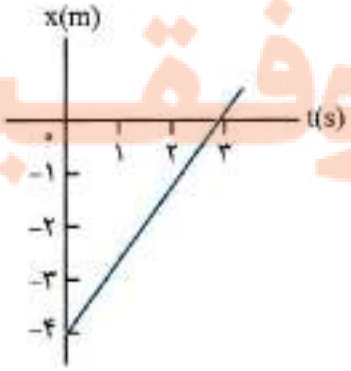
$$t_1 = 5s\ ,\ x_1 = 6m \Rightarrow 6 = (2 \times 5) + x_0 \Rightarrow x_0 = -4m$$

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.

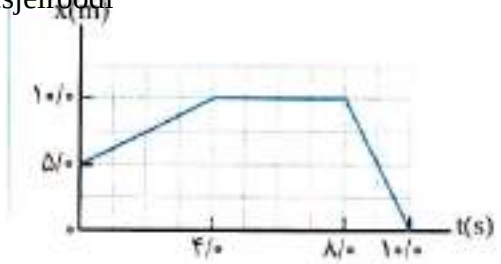
برای رسم نمودار مکان-زمان می‌توان مکان‌های متحرک در لحظات مختلف را به دست آورد. بنابراین با استفاده از معادلهٔ $x = 2t - 6$ داریم:

x	t
-4	0
0	3



@physicsjeldoo

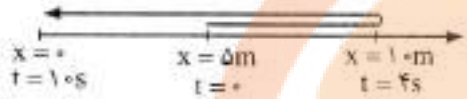
۱۵ شکل زیر نمودار مکان-زمان متحرکی را نشان می‌دهد که در امتداد محور x حرکت می‌کند.



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 ۰/۰s 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 ۰/۰s 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:

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

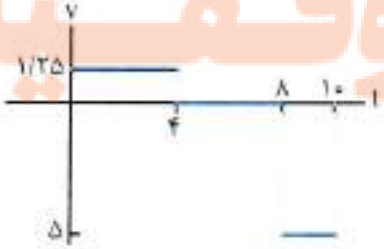
در بازهٔ زمانی ۴s تا ۸s:

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

در بازهٔ زمانی ۸s تا ۱۰s:

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

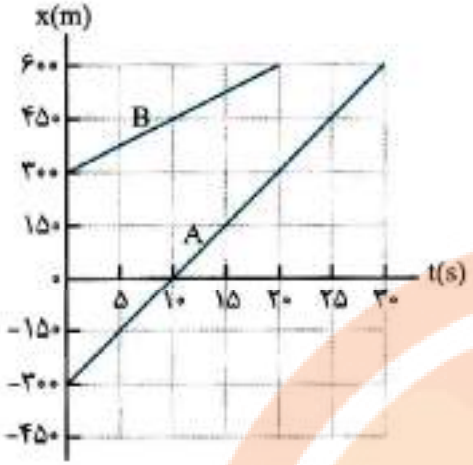
ت) نمودار سرعت-زمان متحرک را رسم کنید.



تلاشی در مسیر موفقیت

@physicsjafroodi

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:

$$v_A = v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۶۰۰-(-۳۰۰)}{۲۰-۰} = \frac{۹۰۰}{۳۰} = ۳۰\frac{m}{s}$$

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

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:

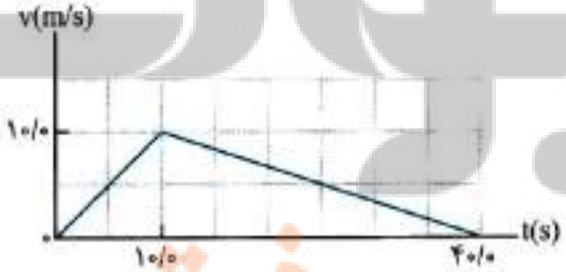
$$x = ۳۰t - ۳۰۰ \xrightarrow{t=۴۰s} x = ۳۰(۴۰) - ۳۰۰ = ۹۰۰m$$

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 تپ‌های 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 نصف زمان فوق نیاز داریم بنابراین می‌توان نوشت:

$$v_{نور} = ۳\times۱۰^۸\frac{m}{s} \ , \ \Delta t_{رفت} = \frac{۱}{۲}\times ۰/۲۴ = ۰/۱۲s \qquad \Delta x = v\Delta t = (۳\times۱۰^۸)(۰/۱۲) = ۳/۶\times۱۰^۷ m$$

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 :

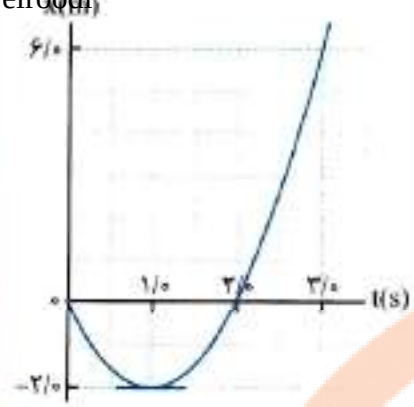
$$v_{av} = \frac{v+v_0}{۲} = \frac{۰+۵}{۲} = ۲/۵\frac{m}{s}$$

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

تلاشی در مسیر موفقیت

@physicsjeroom

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.

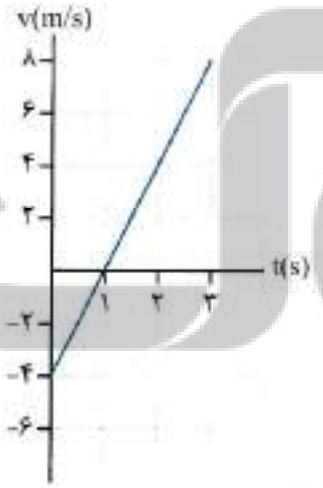
$$\left.\begin{array}{l} t = ۱s\ ,\ x = -۲m \Rightarrow -۲ = \frac{۱}{۲}a(۱)^۲ + v_۰(۱) + ۰ \xrightarrow{\times ۲} a + ۲v_۰ = -۴ \\ t = ۲s\ ,\ x = ۰m \Rightarrow ۰ = \frac{۱}{۲}a(۲)^۲ + v_۰(۲) + ۰ \longrightarrow ۲a + ۲v_۰ = ۰ \end{array}\right\} \Rightarrow a = ۴\frac{m}{s^۲}\ ,\ v_۰ = -۴\frac{m}{s}$$

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

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.**

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

الف) شتاب حرکت آن چقدر است؟

با استفاده از معادلهٔ سرعت-جابه‌جایی داریم:

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

@physicsjelfoodi

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: $x_۲ = vt + x_۰ \xrightarrow{x_۰=۰m\ ,\ v_۰=۱۰\frac{m}{s}} x_۲ = ۱۰t$

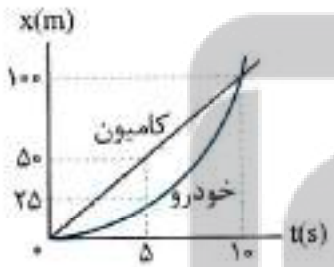
$$x_۱ = x_۲ \Rightarrow t^۲ = ۱۰t \Rightarrow t^۲ - ۱۰t = ۰ \Rightarrow t(t-۱۰) = ۰ \begin{cases} t = ۰s \Rightarrow \text{در پشت چراغ هم‌مکان بوده‌اند.} \\ t = ۱۰s \Rightarrow \text{پس از ۱۰ ثانیه خودرو به کامیون می‌رسد.} \end{cases}$$

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:

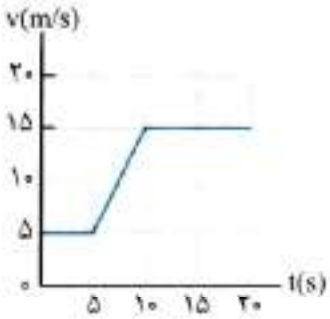
خودرو: $v_۱ = at + v_۰ \xrightarrow[a=۲\frac{m}{s^۲}]{v_۰=۰\frac{m}{s}\ ,} v = ۲t$

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

تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjeffoodi

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:

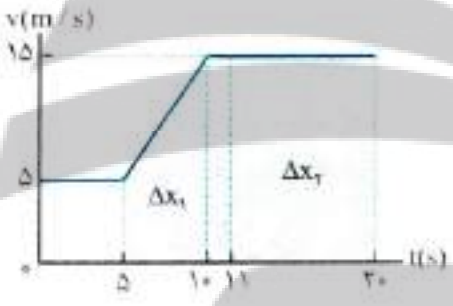
$$a=a_{av}=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{۱۵-۵}{۱۰-۵}=\frac{۱۰}{۵}=۲\frac{m}{s^۲}$$

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:

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

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 $t_۲=۱۱s$ تا $t_۳=۲۰s$ را به دست آورید.

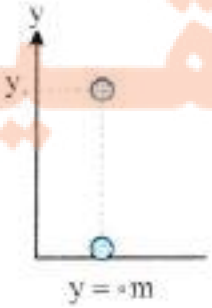
بازهٔ زمانی ۵s تا ۱۱s:

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

بازهٔ زمانی ۱۱s تا ۲۰s:

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

۲۳ **گلوله‌ای را باید از چه ارتفاعی رها کنیم تا پس از ۴/۰ ثانیه به زمین برسد؟ سرعت گلوله در نیمهٔ راه و همچنین در لحظهٔ برخورد به زمین چقدر است؟ مقاومت هوا را نادیده بگیرید.** جهت بالا را مثبت و مبدأ مکان را روی زمین در نظر می‌گیریم. بنابراین در لحظهٔ برخورد به زمین، $y=۰m$ است.



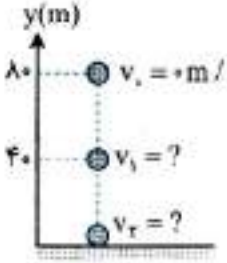
$$t=۴s\ ,\ y=۰m\ ,\ y_۰=?$$

$$y=-\frac{۱}{۲}gt^۲+y_۰\Rightarrow ۰=-\frac{۱}{۲}\times۱۰(۴)^۲+y_۰\Rightarrow y_۰=۸۰m$$

تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjeroodi

برای به دست آوردن سرعت گلوله در نیمهٔ راه می‌توان نوشت:



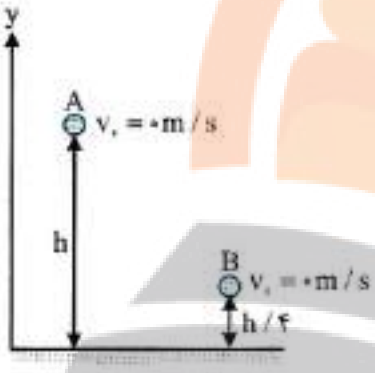
$$v_1^2 - v_0^2 = -2g(y - y_0) \Rightarrow v_1^2 - 0 = -2\times 10\times(40-80) \Rightarrow v_1^2 = 800$$

$$\Rightarrow v_1 = \pm\sqrt{800} = \pm 20\sqrt{2}\,\frac{m}{s}$$

با توجه به اینکه سرعت به طرف پایین است، $v_1 = -20\sqrt{20}\,\frac{m}{s}$ قابل قبول است. برای به دست آوردن سرعت برخورد به زمین از معادلهٔ سرعت-زمان استفاده می‌کنیم:

$$v_2 = -gt + v_0 \Rightarrow v_2 = -10\times 40 + 0 = -40\,\frac{m}{s}$$

۲۴ الف) گلولهٔ A را در شرایط خلأ از ارتفاع h و بدون سرعت اولیه رها می‌کنیم. سه ثانیه بعد گلولهٔ B را از ارتفاع $h/4$ و بدون سرعت اولیه رها می‌کنیم. نسبت سرعت گلولهٔ A به سرعت گلولهٔ B در لحظهٔ رسیدن به زمین چقدر است؟



جهت بالا را جهت مثبت و مبدأ مکان را روی زمین در نظر می‌گیریم.

برای گلولهٔ A داریم: $v_A^2 - v_0^2 = -2g(y - y_0) \Rightarrow v_A^2 - 0 = -2g(0 - h)$

$$\Rightarrow v_A^2 = 2gh \Rightarrow v_A = \pm\sqrt{2gh}$$

$v_A = -\sqrt{2gh}$ قابل قبول است زیرا سرعت به طرف پایین است. همچنین برای گلولهٔ B می‌توان نوشت:

$$v_B^2 - v_0^2 = -2g(y - y_0) \Rightarrow v_B^2 - 0 = -2g(0 - \frac{h}{4}) \Rightarrow v_B^2 = \cancel{2}g\frac{h}{\cancel{4}_2} = \frac{gh}{2} \Rightarrow v_B = \pm\sqrt{\frac{1}{2}gh}$$

$v_B = -\sqrt{\frac{1}{2}gh}$ قابل قبول است زیرا سرعت به سمت پایین است.

$$\frac{v_A}{v_B} = \frac{-\sqrt{2gh}}{-\sqrt{\frac{1}{2}gh}} = \frac{\sqrt{2}\times\sqrt{gh}}{\sqrt{\frac{1}{2}}\times\sqrt{gh}} = \sqrt{\frac{2}{\frac{1}{2}}} = \sqrt{\frac{4}{1}} = 2 \Rightarrow v_A = 2v_B$$

ب) اگر دو گلوله همزمان به زمین برسند، مدت زمان سقوط هر گلوله و ارتفاع h را پیدا کنید.

اگر زمان حرکت گلولهٔ A را t_A بنامیم، زمان حرکت گلولهٔ B برابر با $t_B = t_A - 3$ خواهد بود، زیرا گلولهٔ B سه ثانیه بعد رها شده است؛ بنابراین با استفاده از معادلهٔ سرعت-زمان برای دو گلوله داریم:

$$v_A = -gt_A \quad (1) \qquad v_A = -gt_B = -g(t_A - 3) \quad (2) \qquad v_A = 2v_B \quad (3)$$

از معادلهٔ (۱) و (۳) داریم:

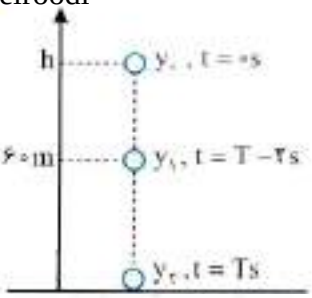
$$v_A = -gt_A \xrightarrow{v_A = 2v_B} 2v_B = -gt_A \xrightarrow{v_B = -g(t_A-3)} 2(-\cancel{g}(t_A - 3)) = -\cancel{g}t \Rightarrow 2t_A - 6 = t_A \Rightarrow t_A = 6s$$

مدت زمان سقوط گلولهٔ A، ۶ ثانیه است؛ بنابراین برای مدت زمان سقوط گلولهٔ B داریم: $t_B = t_A - 3 = 3s$

برای به دست آوردن ارتفاع h کافی است زمان به‌دست‌آمدهٔ t_A را در معادلهٔ مکان-زمان گلولهٔ A جایگذاری کنیم.

$$y = -\frac{1}{2}gt_A^2 + y_0 \Rightarrow 0 = -\frac{1}{2}\times 10\times 6^2 + h \Rightarrow h = 180m$$

@physicsjafroodi



۳۵ سنگی از بام ساختمانی بدون سرعت اولیه و در شرایط خلأ به طرف زمین رها می‌شود.

الف) اگر سنگ در ۲ ثانیهٔ آخر حرکت خود ۶۰ متر را طی کند، ارتفاع ساختمان چند متر است؟

مدت زمان سقوط سنگ را T و ارتفاع ساختمان را h در نظر می‌گیریم. با در نظر گرفتن جهت بالا به عنوان جهت مثبت و سطح زمین به عنوان مبدأ مکان، داریم:

ارتفاع سنگ پس از $T-2s$: $y_1 = 60m \Rightarrow -\frac{1}{2}g(T-2)^2 + h = 60$ (۱)

ارتفاع سنگ پس از T ثانیه: $y_2 = 0 \Rightarrow -\frac{1}{2}gT^2 + h = 0$ (۲)

$$\xrightarrow{(1),(2)} -\frac{1}{2}g(T^2 - 4T + 4) + h - (-\frac{1}{2}gT^2 + h) = 60 - 0 \Rightarrow -\frac{1}{2}gT^2 + 2gT - 2g + h + \frac{1}{2}gT^2 - h = 60$$

$$\Rightarrow 2g(T-1) = 60 \Rightarrow T - 1 = \frac{60}{20} = 3 \Rightarrow T = 4s$$

بنابراین کل زمان حرکت چهار ثانیه بوده است. برای محاسبهٔ ارتفاع h می‌توان t را در یکی از معادلات (۱) یا (۲) قرار داد.

$$\xrightarrow{(2)} -\frac{1}{2}gt^2 + h = 0 \Rightarrow 0 = -\frac{1}{2} \times 10(4)^2 + h \Rightarrow h = 80m$$

ب) سرعت سنگ درست پیش از برخورد به زمین چقدر است؟

با استفاده از معادلهٔ سرعت-زمان داریم:

$$v = -gT \xrightarrow{t=4s} v = -10 \times 4 = -40\frac{m}{s}$$

ترنج بوک
تلاشی در مسیر موفقیت

@physicsjafroodi

پرسش(۲-۱) صفحهٔ ۳۱ 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 ۳۱ 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 ۳۱ 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.

@physicsjeffroodi

پرسش(۲-۳)

صفحهٔ ۳۲ کتاب درسی

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

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؟

$T = F_p$

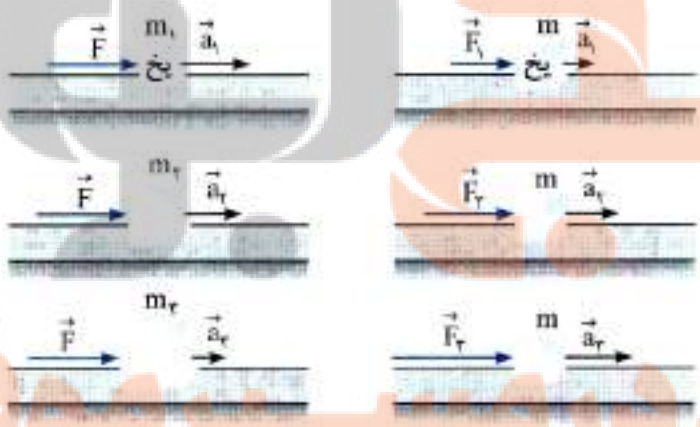
$T' = F_p + W$

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 ۳۲ 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.)

@physicsjeiroodi

پرسش(۲-۵) صفحهٔ ۳۵ 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 ۳۶ کتاب درسی

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

$$m = ۱۰۰g = ۰/۱kg \qquad \vec{W}_{زمین} = m\vec{g}_{زمین} \Rightarrow W_{زمین} = ۰/۱ \times ۹/۸ = ۰/۹۸N$$

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.

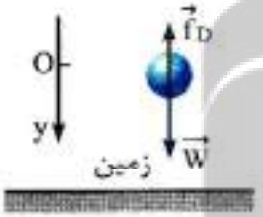
$(g_{مریخ} = ۳/۷N/kg \, , \, g_{ماه} = ۱/۶N/kg \, , \, g_{زمین} = ۹/۸N/kg)$

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

تمرین(۲-۲) صفحهٔ ۳۷ 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:

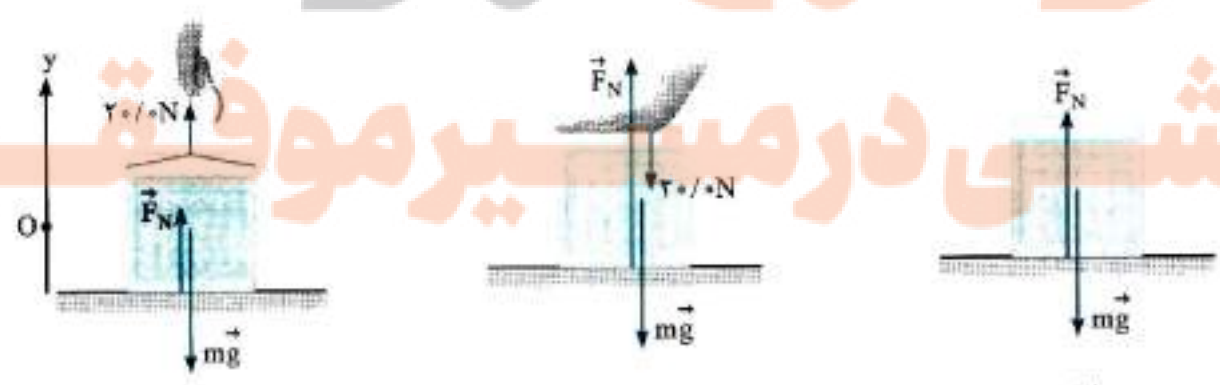


$$W - f_D = ma \xrightarrow{f_D = ۰} W = ma \Rightarrow a = \frac{W}{m} = \frac{mg}{m} = g$$

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 ۳۸ 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

@physicsjelroodi

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 ۳۹ 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:

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

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:

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

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:

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

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:

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

پرسش(۲-۷) **صفحهٔ ۴۰ 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.

@physicsjafroodi

ب) چرا راه رفتن روی یک سطح شُر مانند سطح یخ به‌سختی ممکن است؟ هنگام راه رفتن روی یک سطح شُر، نیروی رو 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 شُر می‌خورد. به همین دلیل برای جلوگیری از شُرخوردن باید نیروی واردشده به پای تکیه‌گاه را تا حد ممکن (کمتر از نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه بین کف پا و سطح شُر) کم کنیم. در نتیجه مجبور خواهیم بود با قدم‌های کوتاه و به آرامی روی سطح حرکت کنیم.

تمرین(۲-۴) ..... **صفحهٔ ۴۱ 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: $F_۱ - f_s = m\vec{a}^{\,۰} \Rightarrow f_s = F_۱ = ۴N$ جسم ساکن است.

حالت دوم: $F_۲ - f_s = m\vec{a}^{\,۰} \Rightarrow f_s = F_۲ = ۸N$ جسم ساکن است.

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

حالت سوم: $F_۳ - f_{s,max} = m\vec{a}^{\,۰} \Rightarrow f_{s,max} = F_۳ = ۱۶N$

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 ۴۱ 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.

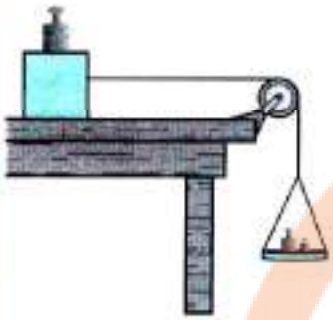
شمارهٔ آزمایش	مساحت سطح تماس قطعه با میز	وزن قطعه: ۱۲N	
		عددی که نیروسنج نشان می‌دهد ($f_{s,max}$)	μ_s
۱	$۱۵۰cm^۲$	۷/۱N	۰/۵۹
۲	$۵۰cm^۲$	۷/۲N	۰/۶

@physicsjeldoo

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

فعالیت(۲-۲) صفحهٔ ۴۲ 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.

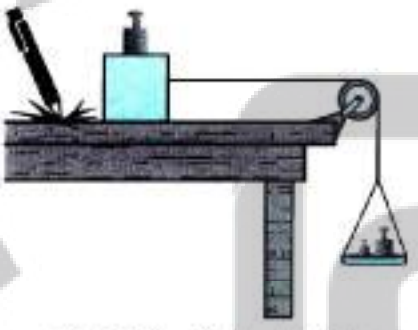
۳- وزنه‌های مختلف را روی قطعه چوبی قرار می‌دهیم و مرحلهٔ ۲ را برای هر وزنه تکرار می‌کنیم.

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 ۴۲ 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 زبرین 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.

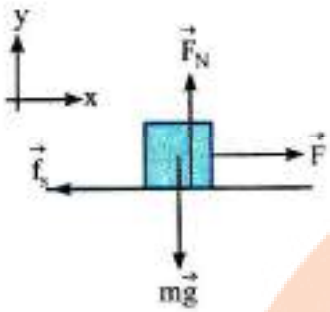
ب) بستگی یا عدم بستگی نیروی اصطکاک جنبشی به مساحت سطح تماس دو جسم را تحقیق کنید.

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.

@physicsjeffoodi

تمرین(۲-۵) صفحهٔ ۴۳ 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 441N است.

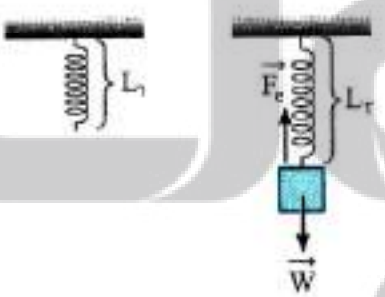
فعالیت(۲-۴) صفحهٔ ۴۳ کتاب درسی

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

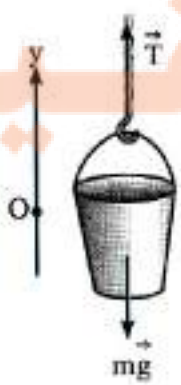
شرح آزمایش: ابتدا یکی از فنرها را به پایه آویزان می‌کنیم، طول آن را با خط‌کش اندازه گرفته و آن را L_1 می‌نامیم. سپس وزنه‌ای که قبلاً جرم (m) آن را با ترازو اندازه گرفته‌ایم به فنر متصل می‌کنیم و منتظر می‌مانیم تا فنر به حال سکون در آید. در این حالت طبق قانون دوم نیوتون نیروی کشسانی فنر برابر با وزن جسم 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 ۴۵ 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:

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

@physicsjeroo

تمرین(۲-۷) صفحهٔ ۴۷ 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:

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

پرسش متن صفحهٔ ۴۹ کتاب درسی

با اینکه تندی جسم در این حرکت ثابت است، حرکت ذره شتاب‌دار است (چرا؟).

در حرکت شتاب‌دار، سرعت ذره تغییر می‌کند. با توجه به اینکه در حرکت دایره‌ای یکنواخت، جهت حرکت در هر لحظه تغییر می‌کند در نتیجه جهت سرعت ذره نیز در طول مسیر و در هر لحظه تغییر می‌کند. بنابراین حرکت دایره‌ای یکنواخت یک حرکت شتاب‌دار است.

پرسش(۲-۸) صفحهٔ ۴۹ کتاب درسی

چرا در حرکت دایره‌ای یکنواخت، ذره در بازه‌های زمانی برابر، مسافت‌های یکسانی را طی می‌کند؟

زیرا در این نوع حرکت، تندی ثابت است؛ بنابراین در بازه‌های زمانی یکسان، مسافت‌های یکسانی طی می‌شود.

پرسش(۲-۹) صفحهٔ ۴۹ کتاب درسی

دورهٔ عقربهٔ ثانیه‌شمار، دقیقه‌شمار و ساعت‌شمار یک ساعت عقربه‌ای چیست؟

۶۰s طول می‌کشد تا عقربهٔ ثانیه‌شمار، یک دور کامل بزند، بنابراین:

عقربهٔ ثانیه‌شمار $T_s=60s$

۶۰ دقیقه طول می‌کشد تا عقربهٔ دقیقه‌شمار، یک دور کامل بزند، بنابراین:

عقربهٔ دقیقه‌شمار $T_m=60\times60=3600s$

۱۲ ساعت طول می‌کشد تا عقربهٔ ساعت‌شمار، یک دور کامل بزند، بنابراین: عقربهٔ ساعت‌شمار $T_h=12\times3600=43200s$

تمرین(۲-۸) صفحهٔ ۵۱ کتاب درسی

مسافتی را که هر یک از افراد در مثال بالا در مدت ۳/۰s طی کرده‌اند محاسبه کنید.

$r_1=1m\ ,\ r_2=2m\ ,\ r_3=3m\ ,\ T=12s\ ,\ \Delta t=3s$

$$\left.\begin{array}{l} v=\frac{2\pi r}{T} \\ x=v\Delta t \end{array}\right\} \Rightarrow x=\frac{2\pi r}{T}\Delta t$$

$$x_1=\frac{2\pi r_1}{T}\Delta t=\frac{2\times3/14\times1}{12}\times3=1/57m$$

$$x_2=\frac{2\pi r_2}{T}\Delta t=\frac{2\times3/14\times2}{12}\times3=3/14m$$

$$x_3=\frac{2\pi r_3}{T}\Delta t=\frac{2\times3/14\times3}{12}\times3=4/71m$$

تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjeroodi

پرسش(۲-۱۰) صفحهٔ ۵۱ کتاب درسی

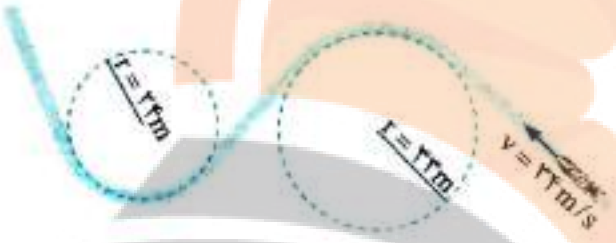
نشان دهید در حرکت دایره‌ای یکنواخت، شتاب مرکزگرا از رابطهٔ $a_c = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$ نیز به دست می‌آید که در آن T و r به‌ترتیب دورهٔ تناوب و شعاع دایره است.

$$\left.\begin{array}{l} v = \frac{2\pi r}{T} \\ a_c = \frac{v^2}{r} \end{array}\right\} \Rightarrow a_c = \frac{(\frac{2\pi r}{T})^2}{r} = \frac{4\pi^2 r^2}{T^2 r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

تمرین(۲-۹) صفحهٔ ۵۲ کتاب درسی

شکل روبه‌رو مسیر حرکت سورتمه‌ای را در مسابقهٔ المپیک زمستانی نشان می‌دهد. سورتمه روی یک سطح افقی در حال حرکت است. اگر تندی حرکت سورتمه در کل مسیر $34\,m/s$ باشد، شتاب مرکزگرای آن را در هر یک از پیچ‌ها به دست آورید.

$$r_1 = 33m \ , \ r_2 = 24m \ , \ a_{c,1} = ? \ , \ a_{c,2} = ?$$

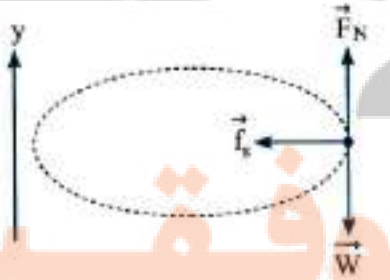


$$a_c = \frac{v^2}{r} \Rightarrow \begin{cases} a_{c,1} = \frac{v^2}{r_1} = \frac{(34)^2}{33} = 35/03 \frac{m}{s^2} \\ a_{c,2} = \frac{v^2}{r_2} = \frac{(34)^2}{24} = 48/16 \frac{m}{s^2} \end{cases}$$

تمرین(۲-۱۰) صفحهٔ ۵۳ کتاب درسی

خودرویی به جرم $1500kg$ را در نظر بگیرید که می‌خواهد در یک پیچ مسطح افقی به شعاع $50/0m$ بدون آنکه بلغزد، دور بزند. اگر ضریب اصطکاک ایستایی بین لاستیک و سطح جاده ۱/۰ باشد، حداکثر تندی خودرو چقدر می‌تواند باشد؟ (راهنمایی: با اینکه خودرو می‌خواهد یک‌چهارم دایره را طی کند، می‌توانیم خودرو را به صورت یک ذره در نظر بگیریم که در یک‌چهارم دایره، حرکت دایره‌ای یکنواخت دارد. در راستای عمود بر سطح، نیروی وزن و نیروی عمودی سطح بر خودرو وارد می‌شود و نیروی اصطکاک ایستایی که عمود بر راستای حرکت است، مانع از لغزش خودرو شده و به طرف مرکز پیچ، بر خودرو وارد می‌شود. این نیرو شتاب مرکزگرای لازم را برای دور زدن تأمین می‌کند.)

مطابق شکل سه نیروی وزن، نیروی عمودی سطح و نیروی اصطکاک بر خودرو وارد می‌شود. با استفاده از قانون دوم نیوتون برای راستای y داریم:



$$\vec{F}_{y,net} = m\vec{a} = 0 \Rightarrow F_N = W = mg$$

با توجه به اینکه نیروی وزن و نیروی عمودی سطح همدیگر را خنثی می‌کنند، خواهیم داشت:

$$F_{net} = f_s = m\frac{v^2}{r} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{rf_s}{m}}$$

بنابراین سرعت بیشینه‌ای که خودرو با آن می‌تواند بدون لغزیدن پیچ مسیر را طی کند، برابر است با:

$$v_{max} = \sqrt{\frac{rf_{s,max}}{m}} = \sqrt{\frac{r\mu_s F_N}{m}} = \sqrt{\frac{r\mu_s mg}{m}} = \sqrt{r\mu_s g} = \sqrt{50 \times 1 \times 9/8} = 7\sqrt{10}\frac{m}{s} \simeq 80\frac{km}{h}$$

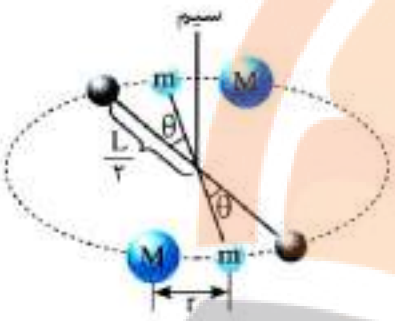
تلاشی در مسیر موفقیت

@physicsjeroodi

فعالیت(۲-۵)

صفحهٔ ۵۴ 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. کاوندیش 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 $m = ۰/۷۳kg$ 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 $M = ۱۵۸kg$ 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.

$$(k\theta = \frac{GmM}{r^۲})$$

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.

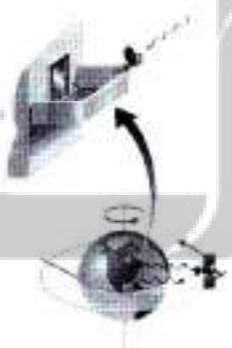
$$(T = ۲\pi\sqrt{\frac{mL^۲}{۲k}})$$

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

$$G = \frac{۲\pi^۲ Lr^۲\theta}{MT^۲}$$

تمرین(۲-۱۱)

صفحهٔ ۵۶ کتاب درسی



مدار همگام با زمین و ماهواره‌های مخابراتی: از دیدگاه مخابراتی، باقی ماندن ماهواره در یک محل نسبت به مکانی در روی زمین (مثلاً بالای ایران) امتیاز محسوب می‌شود. این در صورتی رخ می‌دهد که دورهٔ گردش ماهواره به دور زمین با مدت زمان یک دور چرخش زمین به دور خودش، یعنی $۲۴/۰h$ یکسان باشد.

الف) در چه فاصله‌ای از زمین می‌توان این مدار همگام با زمین را یافت؟ جرم ماهواره را m و فاصلهٔ آن تا مرکز زمین را r در نظر می‌گیریم. تنها نیرویی که به ماهواره وارد می‌شود نیروی گرانشی است، بنابراین داریم:

$$\left.\begin{array}{l} F_{net} = \frac{mv^۲}{r} \\ v = \frac{۲\pi r}{T} \end{array}\right\} \Rightarrow G\frac{M_e m}{r^۲} = m\frac{(\frac{۲\pi r^۲}{T})}{r} \Rightarrow G\frac{M_e m}{r^۲} = \frac{۴\pi^۲ r}{T^۲} \Rightarrow r^۳ = \frac{GM_e T^۲}{۴\pi^۲} \Rightarrow r = \sqrt[۳]{\frac{GM_e T^۲}{۴\pi^۲}}$$

اکنون با استفاده از رابطهٔ به‌دست‌آمده می‌توان فاصلهٔ ماهواره از مرکز زمین را محاسبه نمود:

$$r = \sqrt[۳]{\frac{۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\times۵/۹۸\times۱۰^{۲۴}\times۸۶۴۰۰^۲}{۴\pi^۲}} = ۴/۲۲۵\times۱۰^۷ m \Rightarrow r = ۴۲۲۵۰km$$

تلاشت در مسیر موفقیت

@physicsjelfoodi

ب) تندی مداری این ماهواره چقدر است؟

$$v=\frac{2\pi r}{T}=\frac{2\pi\times 4/225\times 10^{7}}{86400}=3072\frac{m}{s}\simeq 11000\frac{km}{h}$$

پرسش(۲-۱۱) ..... صفحهٔ ۵۶ کتاب درسی

نشان دهید مربع دورهٔ گردش ماهواره‌ها به دور زمین متناسب با مکعب فاصلهٔ ماهواره از مرکز زمین است.

با توجه به اینکه تنها نیروی واردشده به ماهواره نیروی گرانشی است، مطابق قانون دوم نیوتون می‌توان نوشت:

$$\left.\begin{aligned}F_{net}&=\frac{mv^2}{r}\\ v&=\frac{2\pi r}{T}\end{aligned}\right\}\Rightarrow G\frac{M_e m}{r^2}=\frac{m(\frac{2\pi r}{T})^2}{r}\Rightarrow G\frac{M_e m}{r^2}=\frac{4\pi^2 r}{T^2}\Rightarrow T^2=\underbrace{\frac{4\pi^2}{GM_e}}_{\text{k=ضریب ثابت}}r^3\Rightarrow T^2=kr^3$$

تمرین(۲-۱۲) ..... صفحهٔ ۵۶ کتاب درسی

نشان دهید شتاب گرانشی روی زمین برابر است با: $g=G\frac{M_e}{R_e^2}$

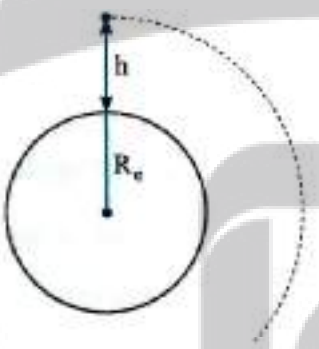
نیروی گرانشی که از طرف زمین به یک جسم که روی سطح زمین قرار دارد، وارد می‌شود برابر با وزن جسم روی سطح زمین است. بنابراین:

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

تمرین(۲-۱۳) ..... صفحهٔ ۵۶ کتاب درسی

تلسکوپ فضایی هابل با تندی $7560\frac{m}{s}$ **گرد زمین می‌چرخد.**

الف) فاصلهٔ این تلسکوپ از سطح زمین چند کیلومتر است؟



$$v=7560\frac{m}{s},\ G=6/67\times 10^{-11}\frac{N.m^2}{kg^2},\ M_e=5/98\times 10^{24}kg$$

$$R_e=6380\times 10^{3}m$$

مطابق شکل فاصلهٔ تلسکوپ تا سطح زمین را h در نظر می‌گیریم. با توجه به اینکه تنها نیروی واردشده به تلسکوپ، نیروی گرانشی زمین است، داریم:

$$F_{net}=\frac{mv^2}{r}\Rightarrow G\frac{mM_e}{(R_e+h)^2}=\frac{mv^2}{(R_e+h)}\Rightarrow R_e+h=\frac{GM_e}{v^2}=\frac{6/67\times 10^{-11}\times 5/98\times 10^{24}}{(7560)^2}$$

$$=6980\times 10^{3}m=6980km\Rightarrow h=6980-6380=600km$$

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

$$\frac{W_h}{W_e}=\frac{G\frac{mM_e}{(R_e+h)^2}}{G\frac{mM_e}{R_e^2}}\Rightarrow\frac{W_h}{W_e}=(\frac{R_e}{R_e+h})^2=(\frac{6380}{6980})^2=0/835$$

پ) دورهٔ تناوب این تلسکوپ را پیدا کنید. $(R_e=6380km)$

$$v=\frac{2\pi r}{T}\Rightarrow T=\frac{2\pi r}{v}=\frac{2\pi(R_e+h)}{v}=\frac{2\pi\times 6980\times 10^{3}}{7560}=5800s$$

تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjeri6081

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 شدن 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.

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.

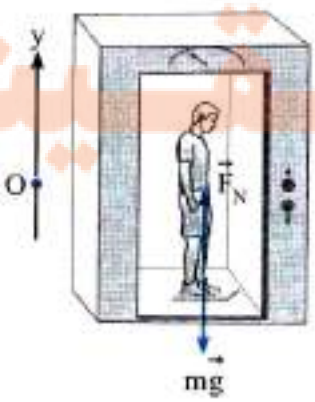
همچنین شخص درون خودروی در حال حرکت، تمایل دارد حرکت روبه جلوی خود را حفظ کند بنابراین وقتی خودرو ترمز می‌کند، شخص به سمت جلو پرتاب می‌شود.

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 ۵۰/۰kg روی یک ترازوی فنری در آسانسور ایستاده است. در هر یک از حالت‌های زیر این ترازو چند نیوتون را نشان می‌دهد؟ $(g = 9/80 N/kg)$

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:

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

@physicsjelfoodi

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 $1/2 m/s^2$ 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:

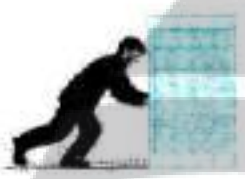
$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \Rightarrow F_N - mg = ma \Rightarrow F_N = mg + ma = m(g+a) \Rightarrow F_N = 50 \times (9/8 + 1/2) = 550N$$

ت) آسانسور با شتاب $1/2 m/s^2$ 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:

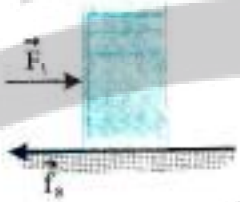
$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \Rightarrow F_N - mg = -ma \Rightarrow F_N = mg - ma = m(g-a) \Rightarrow F_N = 50 \times (9/8 - 1/2) \Rightarrow F_N = 430N$$

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.



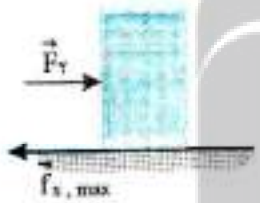
الف) نیروی اصطکاک ایستایی بین جسم و سطح در هر حالت چقدر است؟

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



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

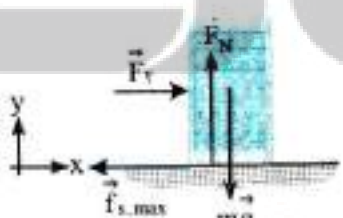
حالت دوم: جسم در آستانهٔ حرکت قرار دارد و همچنان ساکن است بنابراین داریم:



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

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

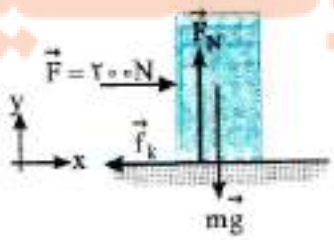
جسم در راستای قائم ثابت است در نتیجه داریم:



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

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

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:

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

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

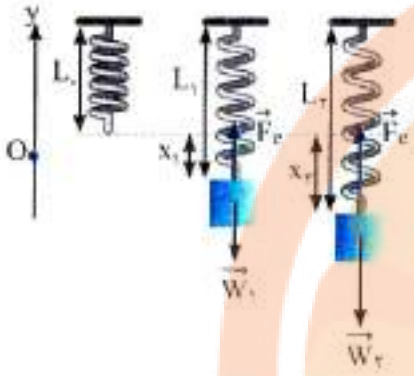
@physicsjafroodi

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:



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

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

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

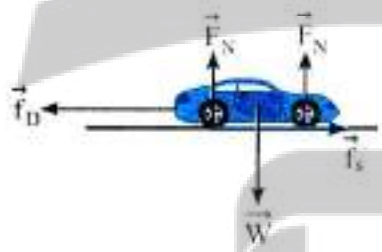
$$\Rightarrow k = \frac{(m_2 - m_1)g}{L_2 - L_1} = \frac{5-4}{15-14} \times 10 = 10 \frac{N}{cm}$$

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.

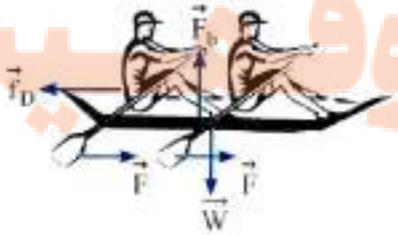


برخودروی در حال حرکت نیروی‌های مقابل وارد می‌شوند. واکنش نیروی وزن (W) به زمین وارد می‌شود. واکنش نیروی عمودی تکیه‌گاه ($\vec{F}_N$) به سطح جاده وارد می‌شود. واکنش نیروی اصطکاک ایستایی (F_S) نیروی رو به عقبی است که در راستای سطح جاده وارد می‌شود. واکنش نیروی مقاومت هوا ($\vec{f}_D$) نیز به مولکول‌های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



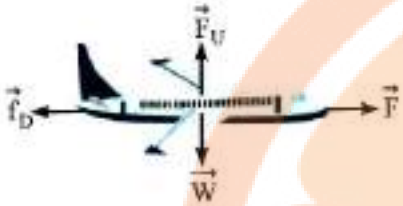
قایق و قایقران را به‌صورت یک جسم واحد در نظر می گیریم بنابراین نیروهای وارد بر آنها به صورت روبه‌رو خواهد بود. عکس‌العمل نیروی ($\vec{W}$) به زمین وارد می‌شود و عکس‌العمل نیروی پیشران ($\vec{F}$) به مولکول‌های آب که به پارو برخورد می‌کنند و عکس العمل نیروی مقاومت ($\vec{f}_D$) به مولکول‌های آب و هوایی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

@physicsjafroodi

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

نیروهای وزن ($\vec{W}$) و مقاومت هوا ($\vec{f}_D$) به چترباز 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.

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؟

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

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

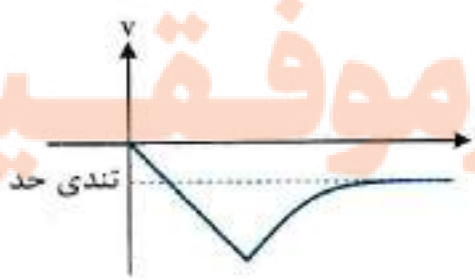
ب) از لحظهٔ ترمز تا توقف کامل خودرو، چقدر طول می‌کشد؟

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

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

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \Rightarrow f_k = ma = 10m$$

(۸) چتربازی از یک بالگرد تقریباً ساکن که در ارتفاع نسبتاً زیادی قرار دارد، به بیرون می‌پرد و پس از مدتی چترخود 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.

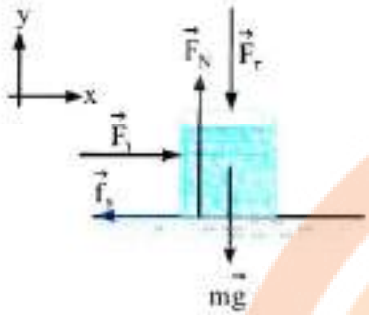


تا قبل از باز شدن چتر، حرکت به صورت سقوط آزاد بوده و شتاب حرکت چترباز، همان شتاب ثابت g (گرانش زمین) است. بعد از باز شدن چتر و با وارد شدن نیروی مقاومت هوا، شتاب حرکت به سمت بالا خواهد بود و سرعت حرکت چترباز کاهش می‌یابد. در نتیجه نیروی مقاومت هوا نیز کم می‌شود تا اینکه نیروی مقاومت هوا و وزن با هم برابر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

@physicsjafroodi

۹) در شکل زیر، نیروی F_1 به بزرگی ۲۰/۰N 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) $\vec{F}_{x,net} = \vec{ma} = 0 \Rightarrow F_1 - f_s = 0 \Rightarrow F_1 = f_s$

در راستای قائم می‌توان نوشت:

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

الف) اندازهٔ نیروی عمودی سطح وارد بر جعبه

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

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

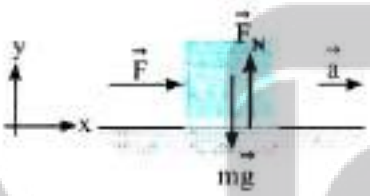
مطابق با رابطهٔ $f_{s,max} = \mu_s F_N$ و با توجه به افزایش F_N، بیشینهٔ نیروی اصطکاک ایستایی ($f_{s,max}$) نیز افزایش می‌یابد.

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/s^2 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:

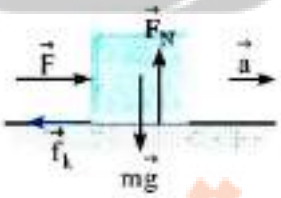


$m = 5kg\ ,\ a = 2\frac{m}{s^2}$

الف) جسم روی سطح افقی بدون اصطکاک حرکت کند.

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

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

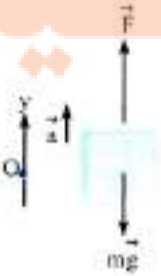


در راستای محور y: $\vec{F}_{y,net} = \vec{ma}_y = 0 \Rightarrow F_N - mg = 0 \Rightarrow F_N = mg$

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

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

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

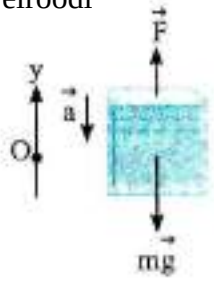


$\vec{F}_{net} = \vec{ma} \Rightarrow F - mg = ma \Rightarrow F = mg + ma \Rightarrow F = m(g + a) = 5(10 + 2) = 60N$

تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjafroodi

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

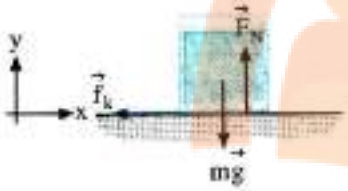


$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \Rightarrow F - mg = -ma \Rightarrow F = mg - ma = m(g-a)$$
$$\Rightarrow F = 5(10-2) = 40N$$

(۱۱) قطعه‌چوبی را با سرعت افقی $10/0 m/s$ روی سطحی افقی پرتاب می‌کنیم. ضریب اصطکاک جنبشی بین چوب و سطح $0/20$ است.

الف) چوب پس از پیمودن چه مسافتی می‌ایستد؟ $v_0 = 10\frac{m}{s}, \mu_k = 0/2, v = 0, \Delta x = ?$

ابتدا شتاب حرکت جسم را محاسبه می‌کنیم:



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

در راستای محور x: $\vec{F}_{x,net} = m\vec{a} \Rightarrow 0 - f_k = ma \Rightarrow -\mu_k F_N = ma$

$$\Rightarrow -\mu_k (mg) = ma \Rightarrow a = -\mu_k g = -0/2 \times 10 = -2\frac{m}{s^2}$$

با استفاده از معادلهٔ مستقل از زمان داریم:

$$v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x \Rightarrow 0 - (10)^2 = 2 \times (-2) \times \Delta x \Rightarrow \Delta x = 25m$$

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؟

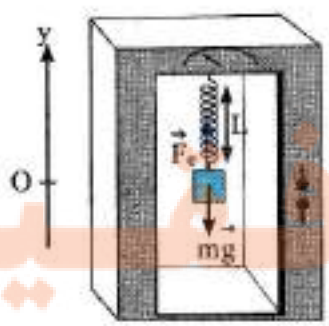
طبق قسمت قبل شتاب حرکت جسم مستقل از جرم جسم است. بنابراین داریم:

$$a_2 = -\mu_k g = -0/2 \times 10 = -2\frac{m}{s^2}$$

بنابراین جابه‌جایی در مرحلهٔ (الف) با جابه‌جایی در مرحلهٔ (ب) برابر است. $(\Delta x_1 = \Delta x_2 = 25m)$

(۱۲) وزنه‌ای به جرم $2/0kg$ را به انتهای فنری به طول $12cm$ که ثابت آن $20N/cm$ است می‌بندیم و فنر را از سقف یک آسانسور آویزان می‌کنیم. طول فنر را در حالت‌های زیر محاسبه کنید.

الف) آسانسور ساکن است.



$$m = 2kg, L_0 = 12cm, k = 20\frac{N}{cm}, L = ?$$

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

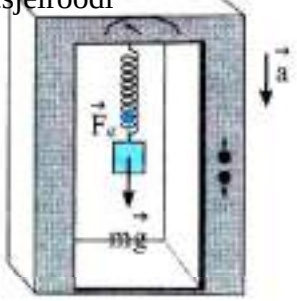
$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} = 0 \Rightarrow F_e - mg = 0 \Rightarrow kx = mg \Rightarrow 20x = 2 \times 10 \Rightarrow x = \frac{20}{20} = 1cm$$

$$L = L_0 + x = 13cm$$

ب) آسانسور با سرعت ثابت $2/0 m/s$ 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 $13cm$ خواهد شد.

@physicsjeroodi

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

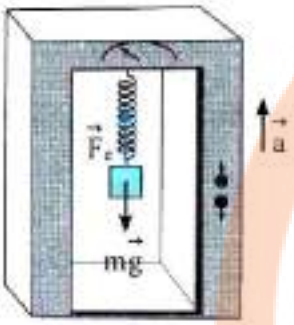


$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \Rightarrow F_e - mg = -ma \Rightarrow F_e = m(g-a) \Rightarrow kx = m(g-a)$$

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

$$L = L_۰ + x = ۱۲/۸cm$$

ت) آسانسور با شتاب ثابت $۲/۰ m/s^۲$ 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 ترمز گرفتن طی می‌کند) و مسافت ترمز (مسافتی که خودرو از لحظه ترمز گرفتن تا توقف کامل طی می‌کند).

کل مسافت توقف = مسافت ترمز + مسافت واکنش

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 نظر گرفتن 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.

تلاشی در مسیر موفقیت

@physicsjeroodi

(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؟

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

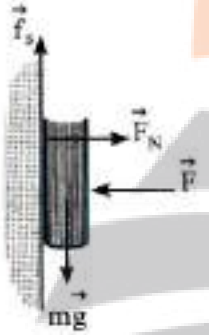
$$\vec{F}_{net} = ma = ۰ \Rightarrow T - (f_D + f_k) = ۰$$

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

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 ۱۵/۰m/s به طور افقی به بازیکنی نزدیک می‌شود. بازیکن با مشت به توپ ضربه می‌زند و باعث می‌شود توپ با تندی ۲۲/۰m/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:

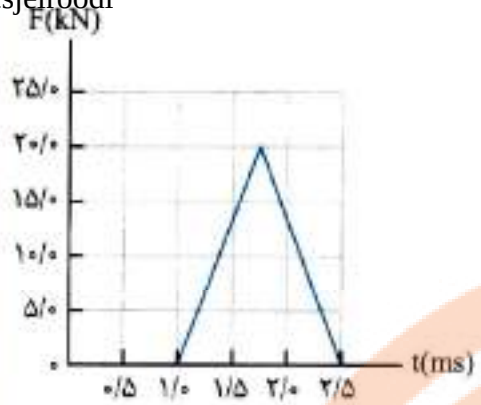
$$\Delta p = ۱۰/۳۶kg\frac{m}{s}$$

ب) اگر مشت بازیکن ۰/۰۶۰۰s با توپ در تماس باشد، اندازهٔ نیروی متوسط وارد بر مشت بازیکن از طرف توپ را به دست آورید.

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

@physicsjeroodi

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:

$$\Delta p = S_{\text{مثلث}} = \frac{(۱/۵\times۱۰^{-۳})\times(۲۰\times۱۰^{۳})}{۲} = ۱۵\text{kg}\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

برای محاسبهٔ نیروی خالص متوسط وارد بر توپ می‌توان نوشت:

$$F_{av} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{۱۵}{۱/۵\times۱۰^{-۳}} = ۱۰^{۴}\,\text{N} = ۱۰\text{kN}$$

۱۸ **پره‌های یک بالگرد در هر دقیقه، ۱۰۰۰ دور می‌چرخند. طول پره‌ها را ۴/۰m فرض کنید و کمیت‌های زیر را برای پره‌ها محاسبه کنید.**

الف) دورهٔ تناوب پره‌ها

$$T = \frac{t}{N} = \frac{۶۰\text{s}}{۱۰۰۰} = ۰/۰۶\text{s}$$

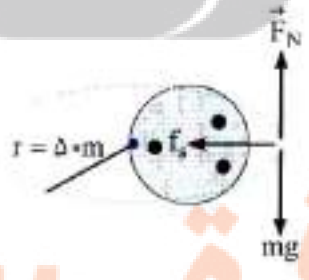
ب) تندی در وسط و نوک پره‌ها

$$v = \frac{۲\pi r}{T} \Rightarrow \begin{cases} r_۱ = ۲\text{m}\text{، در وسط پره‌ها} \Rightarrow v_۱ = \dfrac{۲\pi r_۱}{T} = \dfrac{۲\times\pi\times۲}{۰/۰۶} = ۲۰۹\dfrac{\text{m}}{\text{s}} \\ r_۲ = ۴\text{m}\text{، در نوک پره‌ها} \Rightarrow v_۲ = \dfrac{۲\pi r_۲}{T} = \dfrac{۲\pi\times۴}{۰/۰۶} = ۴۱۸\dfrac{\text{m}}{\text{s}} \end{cases}$$

پ) شتاب مرکزگرا در وسط و نوک پره‌ها

$$a = \frac{v^{۲}}{r} \Rightarrow \begin{cases} \text{در وسط پره‌ها: } a_۱ = \dfrac{v_۱^{۲}}{r_۱} = \dfrac{(۲۰۹)^{۲}}{۲} = ۲/۱۸\times۱۰^{۴}\dfrac{\text{m}}{\text{s}^{۲}} \\ \text{در نوک پره‌ها: } a_۲ = \dfrac{v_۲^{۲}}{r_۲} = \dfrac{(۴۱۸)^{۲}}{۴} = ۴/۳۶\times۱۰^{۴}\dfrac{\text{m}}{\text{s}^{۲}} \end{cases}$$

۱۹ **حداقل ضریب اصطکاک ایستایی بین چرخ‌های خودرو و سطح جاده چقدر باشد تا خودرو بتواند با تندی ۵۴km/h پیچ افقی مسطحی را که شعاع آن ۵۰m است، دور بزند؟**



$$v = ۵۴\frac{\text{km}}{\text{h}} = ۱۵\frac{\text{m}}{\text{s}}\ ,\ r = ۵۰\text{m}\ ,\ \mu_s = ?$$

با استفاده از قانون دوم نیوتون داریم:

در راستای محور y: $F_{y,\text{net}} = ۰ \Rightarrow F_N - mg = ۰ \Rightarrow F_N = mg$

در راستای شعاع مسیر: $F_{\text{net}} = m\frac{v^{۲}}{r} \Rightarrow f_s = m\frac{v^{۲}}{r} = m\times\frac{(۱۵)^{۲}}{۵۰} = ۴/۵\times m$

بنابراین برای اینکه خودرو روی جاده سُر نخورد، نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه باید از $f_s = ۴/۵\text{m}$ بزرگ‌تر باشد، بنابراین داریم:

$$f_{s,\max} = \mu_s F_N = ۴/۵\text{m} \Rightarrow \mu_s mg = ۴/۵\text{m} \Rightarrow \mu_s = ۰/۴۵$$

تلاشی در مسیر موفقیت

@physicsjeroud

(۲۰) 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؟

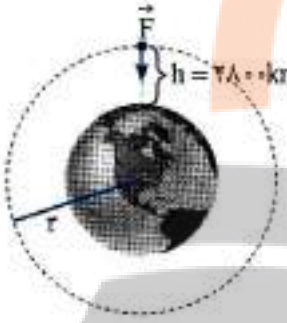
$$r=۲۰m\ ,\ F=۱\times۱۰^{-۸}N\ ,\ m_۱=۵۰kg\ ,\ G=۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\frac{N.m^۲}{kg^۲}\ ,\ m_۲=?$$

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

(۲۱) ماهواره‌ای به جرم $۶۰۰kg$ در مداری دایره‌ای به ارتفاع ۲۸۰۰ کیلومتر از سطح زمین، به دور آن می‌چرخد.

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

الف) نیروی گرانشی وارد بر ماهواره



ماهواره را به صورت ذره و زمین را کره‌ای همگن که جرم آن در مرکزش قرار دارد در نظر می‌گیریم و نیروی گرانش بین آنها را محاسبه می‌کنیم:

$$r=R_e+h=۶۴۰۰+۲۸۰۰=۹۲۰۰km=۹/۲\times۱۰^۶m$$

$$F=G\frac{M_em}{r^۲}=۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\times\frac{۵/۹۸\times۱۰^{۲۴}\times۶۰۰}{(۹/۲\times۱۰^۶)^۲}=۲۸۲۷/۵N$$

ب) شتاب ماهواره

تنها نیرویی که به ماهواره وارد می‌شود، نیروی گرانشی است. بنابراین:

$$\vec{F}_{net}=m\vec{a}\Rightarrow F=ma\Rightarrow ۲۸۲۷/۵=۶۰۰a\Rightarrow a=۴/۷۱\frac{m}{s^۲}$$

پ) تندی ماهواره

$$a=\frac{v^۲}{r}\Rightarrow v=\sqrt{ra}=\sqrt{۹/۲\times۱۰^۶\times۴/۷۱}=۶/۵۸\times۱۰^۳\frac{m}{s}$$

ت) دورهٔ تناوب ماهواره را در این ارتفاع به دست آورید.

$$T=\frac{۲\pi r}{v}=\frac{۲\times۳/۱۴\times۹/۲\times۱۰^۶}{۶/۵۸\times۱۰^۳}=۸/۷۸\times۱۰^۳s$$

(۲۲) **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: $W=G\frac{mM_e}{R_e^۲}$

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

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

تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjeffrodi

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

$$r = R_e + h \Rightarrow r = ۶۴۰۰ + ۳۶۰۰۰ = ۴۲۴۰۰km = ۴/۲۴ \times ۱۰^{۷}\,m$$

$$W = G\frac{mM_e}{r^۲} = ۶/۶۷ \times ۱۰^{-۱۱} \times \frac{۲۵۰ \times ۵/۹۸ \times ۱۰^{۲۴}}{(۴/۲۴ \times ۱۰^{۷})^۲} = ۵۵/۵N$$

۲۳ الف) شتاب گرانشی ناشی از خورشید در سطح زمین چقدر است؟ $M_{ماه} = ۷/۳۶ \times ۱۰^{۲۲}kg$ و $M_{خورشید} = ۱/۹۹ \times ۱۰^{۳۰}kg$

فاصلهٔ زمین تا ماه $= ۳/۸۴ \times ۱۰^{۵}km$ **فاصلهٔ زمین تا خورشید** $= ۱۴۹/۶ \times ۱۰^{۶}km$

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:

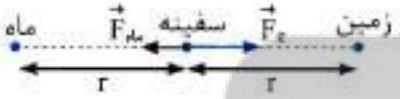
$$g_{خورشید} = \frac{M_{خورشید} \times G}{r^۲} = \frac{۱/۹۹ \times ۱۰^{۳۰} \times ۶/۶۷ \times ۱۰^{-۱۱}}{(۱۴۹/۶ \times ۱۰^{۹})^۲} = ۵/۹۳ \times ۱۰^{-۳}\,\frac{N}{kg}$$

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

$$g_{ماه} = \frac{M_{ماه} \times G}{r^۲} = \frac{۷/۳۶ \times ۱۰^{۲۲} \times ۶/۶۷ \times ۱۰^{-۱۱}}{(۳/۸۴ \times ۱۰^{۸})^۲} = ۳/۳۳ \times ۱۰^{-۵}\,\frac{N}{kg}$$

۲۴ الف) سفینه‌ای به جرم $۳/۰۰ \times ۱۰^{۴}kg$ 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:



$$r = \frac{۱}{۲} \times ۳/۸۴ \times ۱۰^{۸} = ۱/۹۲ \times ۱۰^{۸}\,m$$

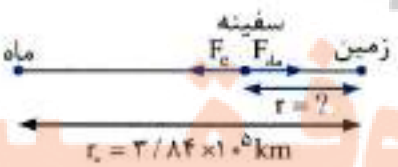
بنابراین با توجه به شکل داریم:

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

$$= ۶/۶۷ \times ۱۰^{-۱۱} \times \frac{۳ \times ۱۰^{۴}}{(۱/۹۲ \times ۱۰^{۸})^۲}(۵/۹۸ \times ۱۰^{۲۴} - ۷/۳۶ \times ۱۰^{۲۲}) = ۳۲۰/۶N$$

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.



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

$$\Rightarrow \frac{r_۰ - r}{r} = \sqrt{\frac{۷/۳۶ \times ۱۰^{۲۲}}{۵/۹۸ \times ۱۰^{۲۴}}} = ۰/۱۱۱ \Rightarrow ۱/۱۱۱r = r_۰ \Rightarrow r = \frac{r_۰}{۱/۱۱۱} \xrightarrow{r_۰ = ۳/۸۴ \times ۱۰^{۵}\,km} r = ۳/۴۶ \times ۱۰^{۵}\,km$$

تلاش در مسیر موفقیت

@physicsjafroodi

پرسش(۳-۱) صفحهٔ ۶۲ کتاب درسی

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

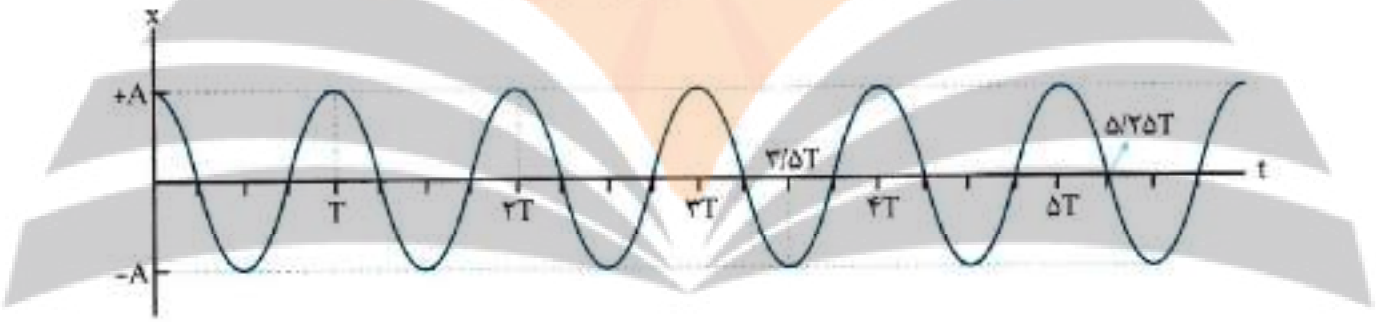
دورهٔ تناوب ضربان قلب $T = ۰/۹۲s$ است؛ بنابراین برای محاسبهٔ فرکانس (بسامد) ضربان قلب می‌توان نوشت:

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

تمرین(۳-۱) صفحهٔ ۶۴ 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، ساده‌ترآن 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) $t = ۲T \Rightarrow x(۲T) = A\cos(\frac{۲\pi}{T} \times ۲T) = A\underbrace{\cos ۴\pi}_{۱} = A$

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

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

تمرین(۳-۲) صفحهٔ ۶۴ کتاب درسی

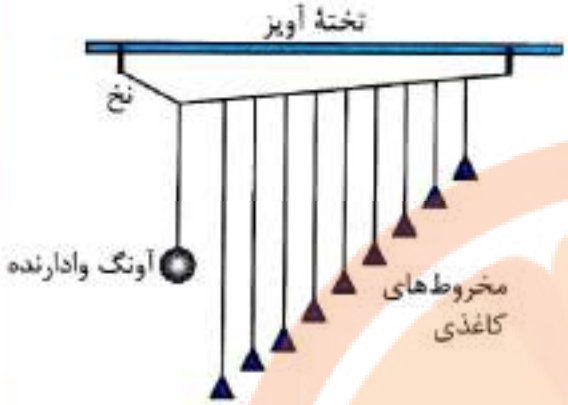
در حرکت هماهنگ ساده، مکان $x(t)$ باید پس از گذشت یک دورهٔ تناوب برابر مقدار اولیه‌اش شود. یعنی اگر $x(t)$ مکان در زمان دلخواه t باشد، آن گاه نوسانگر باید در زمان $t+T$ دوباره به همان مکان بازگردد و بنابراین $A\cos\omega t = A\cos\omega(t+T)$ بر این اساس نشان دهید $\omega = ۲\pi/T$.

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

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

@physicsjeroodi

فعالیت(۳-۳) صفحهٔ ۶۸ 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 ۶۹ 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.

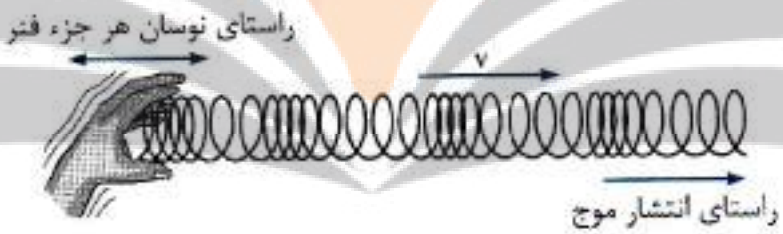
@physicsjeiroodi

پرسش(۳-۲) صفحهٔ ۶۹ 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 ۷۰ کتاب درسی

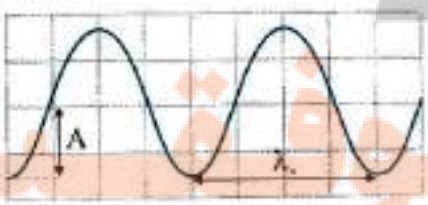
همان‌طور که گفتیم یکی از ویژگی‌های موج پیش‌رونده انتقال انرژی از یک نقطه به نقطهٔ دیگر، در جهت انتشار موج است. با در نظر گرفتن یک تپ طولی در یک فنر بلندِ کشیده شده، این ویژگی را توضیح دهید.

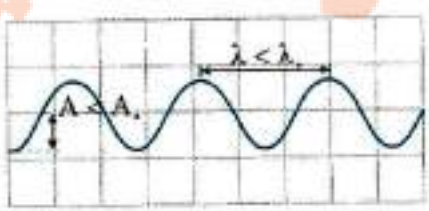


همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، با انتشار و حرکت یک تپ طولی در جهت راست، هر حلقهٔ فنر هم‌راستا با حرکت تپ به چپ و راست نوسان می‌کند طوری که ناحیه‌های جمع‌شدگی و بازشدگی در فنر به وجود می‌آید. با توجه به اینکه تغییر طول فنر (فشرده یا کشیده شدن فنر) باعث ذخیره شدن انرژی پتانسیل کشسانی در فنر می‌شود، با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

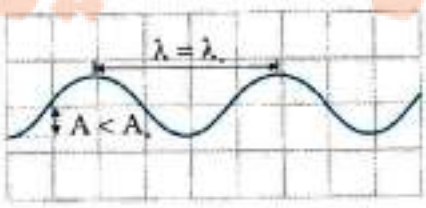
پرسش(۳-۴) صفحهٔ ۷۳ کتاب درسی

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.

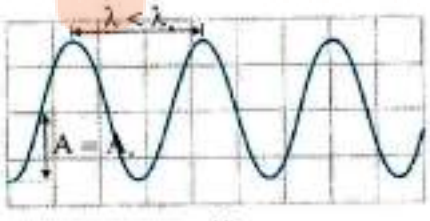




(پ)



(ب)



(الف)

@physicsjeroodi

تمرین(۳-۴) صفحهٔ ۷۴ 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: $L = ۰/۶۲۸\times۱۰^{-۳}\,m\ ,\ m = ۰/۲۰۸\times۱۰^{-۳}\,kg\ ,\ F = ۲۲۶N\ ,\ v = ?$

ابتدا چگالی خطی جرم تارها را محاسبه می‌کنیم: $\mu = \frac{m}{L} = \frac{۰/۲۰۸\times۱۰^{-۳}}{۰/۶۲۸} = ۳/۳\times۱۰^{-۴}\,\frac{kg}{m}$

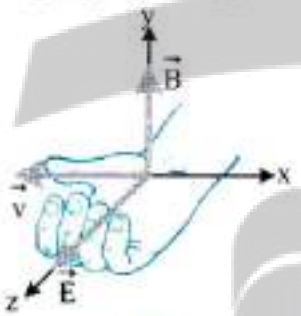
اکنون می‌توان تندی انتشار موج در یک تار را محاسبه نمود: $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{۲۲۶}{۳/۳\times۱۰^{-۴}}} = ۸/۲۷\times۱۰^{۲}\,\frac{m}{s}$

همچنین برای نواختن پایین‌ترین بسامد داریم: $L = ۰/۶۲۸m\ ,\ m = ۳/۳۲\times۱۰^{-۳}\,kg\ ,\ F = ۲۲۶N\ ,\ v = ?$

$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{۳/۳۲\times۱۰^{-۳}}{۰/۶۲۸} = ۵/۳\times۱۰^{-۴}\,\frac{kg}{m} \qquad v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{۲۲۶}{۵/۳\times۱۰^{-۴}}} = ۶/۵۳\,\frac{m}{s}$$

پرسش(۳-۵) صفحهٔ ۷۵ 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 ۷۶ 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.

$$L_{\text{آنتن}} = \frac{۱}{۴}\lambda = ۸/۵cm \Rightarrow \lambda = ۸/۵\times۴ = ۳۴cm = ۰/۳۴m$$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{۳\times۱۰^{۸}}{۰/۳۴} = ۸/۸\times۱۰^{۸}\,Hz$$

فعالیت(۳-۴) صفحهٔ ۷۶ 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 یا از بین رفتن محیط مادی منتشر نمی‌شوند. اما امواج الکترومغناطیسی برای انتشار نیازی به محیط مادی ندارند.

تلاش در مسیر موفقیت

@physicsjeiroodi

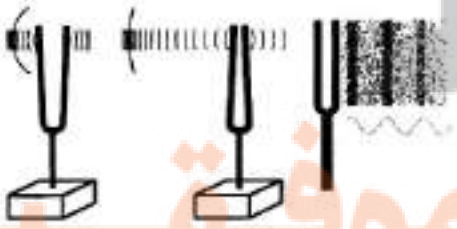
فعالیت(۳-۵) ..... صفحهٔ ۷۷ کتاب درسی

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 – $۱۰^{۸}$ m	استفاده از مدارهای الکتریکی	در آشپزی، رادیو، تلویزیون، مخابرات ماهواره‌ای و در رادارها برای آشکارسازی هواپیما، موشک و کشتی

پرسش(۳-۶) ..... صفحهٔ ۷۹ 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 وزوز 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

تلاشی در مسیر موفقیت

@physicsjeroodi

تمرین(۳-۶) صفحهٔ ۸۰ 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؟

$v_2 = 15v_1 = 15 \times 340 = 5100 \frac{m}{s}$:تندی صوت در میله $v_1 = 340 \frac{m}{s}$:تندی صوت در هوا

$t_2 = t_1 - 0/12$:مدت زمان عبور صوت از داخل میله t_1 :مدت زمان عبور صوت از روی میله

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

$$L = vt \Rightarrow v_1 t_1 = v_2 t_2 \Rightarrow \cancel{v_1} t_1 = 15\cancel{v_1}(t_1 - 0/12) \Rightarrow t_1 = 15t_1 - 1/8 \Rightarrow t_1 = \frac{9}{70}s$$

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

$$L = v_1 t_1 = 340 \times \frac{9}{70} = 43/7m$$

تمرین(۳-۷) صفحهٔ ۸۱ 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؟

$I_2 = 100 I_1$

$$\beta = (10dB)\log(\frac{I}{I_0}) \Rightarrow \beta_2 - \beta_1 = (10dB)(\log(\frac{I_1}{I_0}) - \log(\frac{I_2}{I_0})) = (10dB)\log\frac{100\cancel{I_1}}{\cancel{I_1}} = (10dB)\log 10^2 = 20dB$$

$\Rightarrow \beta_2 = \beta_1 + 20 \Rightarrow$ تراز شدت صورت، 20dB افزایش می‌یابد.

پرسش(۳-۷) صفحهٔ ۸۲ 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 صورت زیر است: $v_{الف} = 0 < v_ب < v_پ < v_ت$

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: $v_ب < v_پ = v_{صوت} < v_ت$

@physicsjeroodi

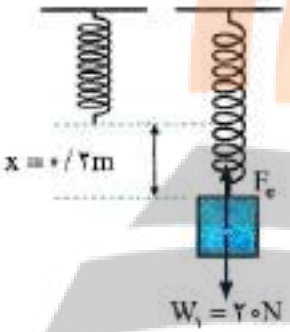
پرسش(۳-۸) ..... صفحهٔ ۸۴ کتاب درسی

شکل زیر چشمهٔ نوری را نشان می‌دهد که در حال حرکت به طرف راست است. چشمه، نوری با بسامد f_s را گسیل می‌کند. بسامد نوری که آشکارساز ساکن دریافت می کند بیشتر از f_s است یا کمتر؟

وقتی چشمهٔ نور از ناظر ساکن دور شود، طول‌موج افزایش و در نتیجه بسامد کاهش می‌یابد؛ بنابراین بسامد نور آشکارشده کمتر از f_s است.

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل(۳) ..... صفحهٔ ۸۵ تا ۸۸ 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؟

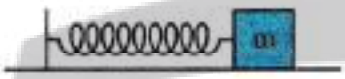


$$W_1 = ۲۰N\ ,\ W_2 = ۵N\ ,\ x = ۲۰cm = ۰/۲m\ ,\ T = ?$$

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

$$F_e - W = ma = ۰ \Rightarrow kx = W \Rightarrow k \times ۰/۲ = ۲۰ \Rightarrow k = ۱۰۰\frac{N}{m}$$

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



$$W_2 = mg = ۵ \Rightarrow m = \frac{۵}{۱۰} = ۰/۵kg \qquad T = ۲\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = ۲\pi\sqrt{\frac{۰/۵}{۱۰۰}} = \frac{\pi\sqrt{۲}}{۱۰}s$$

(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؟

$$m_1 = m\ ,\ m_2 = m + ۲\ ,\ T_1 = ۲s\ ,\ T_2 = ۳s\ ,\ m = ?$$

$$T = ۲\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \frac{\sqrt{\frac{m_1}{k}}}{\sqrt{\frac{m_2}{k}}} = \frac{\sqrt{m_1}}{\sqrt{m_2}} \Rightarrow \frac{۲}{۳} = \sqrt{\frac{m}{m+۲}} \Rightarrow \frac{۴}{۹} = \frac{m}{m+۲} \Rightarrow ۴m + ۸ = ۹m \Rightarrow ۸ = ۵m$$

$$\Rightarrow m = \frac{۸}{۵} = ۱/۶kg$$

(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:

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

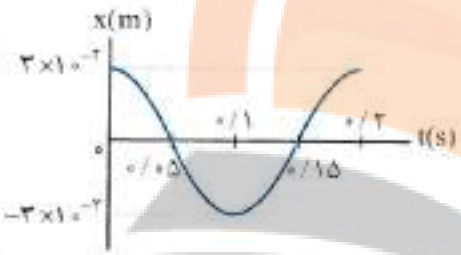
@physicsjafroodi

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = \pi\sqrt{\frac{400}{2\times10^{2}}} = 2\pi\times\frac{\sqrt{2}}{10} = \frac{\pi\sqrt{2}}{5}\,s\ (=0/888s)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\frac{\pi\sqrt{2}}{5}} = \frac{5\sqrt{2}}{2\pi}\,Hz\ (=1/125Hz)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{\frac{\pi\sqrt{2}}{5}} = 5\sqrt{2}\,\frac{rad}{s}\ (=7/07\frac{rad}{s})$$

۴ دامنهٔ نوسان یک حرکت هماهنگ ساده $3/0\times10^{-2}\,m$ و بسامد آن $5/0\,Hz$ هرتز است. معادلهٔ حرکت این نوسانگر را بنویسید و نمودار مکان-زمان آن را در یک دوره رسم کنید.



$$A = 3\times10^{-2}\,m\ ,\ f = 5Hz\ ,\ x(t) = ?$$

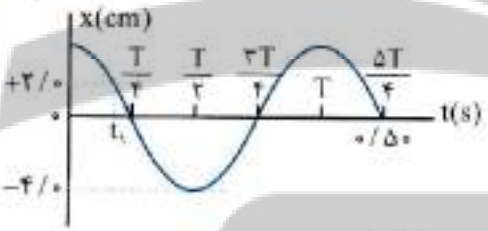
$$\omega = 2\pi f = 2\pi\times5 = 10\pi$$

$$x(t) = A\cos\omega t = 3\times10^{-2}\cos10\pi t$$

$$T = \frac{1}{f} = 0/2s$$

۵ نمودار مکان-زمان نوسانگری مطابق شکل زیر است:

الف) معادلهٔ حرکت این نوسانگر را بنویسید.



با توجه به شکل داریم:

$$\left.\begin{aligned}&\frac{5T}{4} = 0/5 \Rightarrow T = 0/4s \xrightarrow{\omega=\frac{2\pi}{T}} \omega = \frac{2\pi}{0/4} = 5\pi\,\frac{rad}{s}\\ &A = 4cm = 4\times10^{-2}\,m\end{aligned}\right\} \Rightarrow x(t) = A\cos\omega t = 4\times10^{-2}\cos5\pi t$$

ب) مقدار t_1 را به دست آورید.

$t = t_1 \Rightarrow x = 2\times10^{-2}\,m$

مکان نوسانگر در لحظهٔ t_1 برابر $2cm$ است؛ بنابراین:

$$x(t_1) = 2\times10^{-2} \Rightarrow 4\times10^{-2}\cos5\pi t_1 = 2\times10^{-2} \Rightarrow \cos5\pi t_1 = \frac{1}{2} \Rightarrow 5\pi t_1 = \frac{\pi}{3} \Rightarrow t_1 = \frac{1}{15}s$$

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

(دانش‌آموز عزیز برای حل این سؤال باید از مشتق توابع مثلثاتی استفاده کنیم که در صفحهٔ ۹۵ کتاب درسی حسابان ۲ با آن آشنا می‌شوید.)

شتاب، مشتق سرعت نسبت به زمان و سرعت مشتق مکان نسبت به زمان است. در نتیجه داریم:

$$x = A\cos\omega t \qquad v = -A\omega\sin\omega t \qquad a = -A\omega^{2}\cos\omega t$$

$$\Rightarrow a = -4\times10^{-2}\times(5\pi)^{2}\cos5\pi t_1 = -4\times10^{-2}\times25\pi^{2}\cos5\pi\times\frac{1}{15}\ a = -\pi^{2}\cos\frac{\pi}{3} = -\frac{\pi}{2}\,\frac{m}{s^{2}}$$

تلاشی در مسیر موفقیت

@physicsjfroodi

۶) دامنهٔ نوسان وزنه‌ای که به یک فنر با ثابت $74N/m$ 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.)

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

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

$$E=K+U\Rightarrow23/68\times10^{-2}=K+8\times10^{-2}\Rightarrow K=2\times3/68\times10^{-2}-8\times10^{-2}=15/6\times10^{-2}J$$

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؟

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

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

۸) معادلهٔ حرکت هماهنگ سادهٔ یک نوسانگر در SI به صورت $x=(0/05m)\cos20\pi t$ 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 $(x=0)$. در نتیجه خواهیم داشت:

$$x=0\Rightarrow(0/05)\cos20\pi t=0\Rightarrow\cos20\pi t=\cos\frac{\pi}{2}\Rightarrow20\pi t=2n\pi\pm\frac{\pi}{2}\ ,\ n\in\mathbb{Z}\Rightarrow t=\frac{n}{10}\pm\frac{1}{40}\ ,\ n\in\mathbb{Z}$$

بنابراین در لحظه‌های $\frac{1}{40}s$ ، $\frac{5}{40}s$ ، $\frac{9}{40}s$ و... مکان نوسانگر برابر با صفر و تندی آن بیشینه است. پس برای اولین بار در لحظهٔ $t=\frac{1}{40}s$ ، 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.

$$x=\pm0/05\Rightarrow(0/05)\cos20\pi t=\pm0/05\Rightarrow\cos20\pi t=\pm1$$

@physicsjafroodi

$$\Rightarrow \begin{cases} \cos 20\pi t = \cos 0 \Rightarrow 20\pi t = 2n\pi \Rightarrow t = \frac{n}{10} \Rightarrow t = \{\frac{1}{10}s, \frac{2}{10}s, \frac{3}{10}s, \cdots\} \\ \cos 20\pi t = \cos\pi \Rightarrow 20\pi t = 2n\pi \pm \pi \Rightarrow t = \frac{n}{10} + \frac{1}{20} \Rightarrow t = \{\frac{1}{20}s, \frac{3}{20}s, \frac{5}{20}s, \cdots\} \end{cases}$$

بنابراین تندی نوسانگر برای اولین بار در لحظهٔ $t = \frac{1}{20}s$ به صفر می‌رسد.

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

$$\left.\begin{matrix} E = K + U \\ K = U \end{matrix}\right\} \Rightarrow E = 2K \Rightarrow \frac{1}{2}kA^2 = 2 \times \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow kA^2 = 2mv^2 \Rightarrow \frac{kA^2}{2m} = v^2 \Rightarrow v = \frac{A}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\Rightarrow v = \frac{A}{\sqrt{2}}\omega \Rightarrow v = \frac{0/05 \times 20\pi}{\sqrt{2}} = 2/22\frac{m}{s}$$

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؟** $(g_{\text{تهران}} = 9/80 m/s^2 \, , \, g_{\text{استوا}} = 9/78 m/s^2)$

دورهٔ تناوب آونگ را در تهران با T_1 و در استوا با T_2 نشان می‌دهیم؛ بنابراین:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \frac{2\pi\sqrt{\frac{L}{g_{\text{تهران}}}}}{2\pi\sqrt{\frac{L}{g_{\text{استوا}}}}} = \sqrt{\frac{g_{\text{استوا}}}{g_{\text{تهران}}}} = \sqrt{\frac{9/78}{9/80}} < 1 \Rightarrow T_1 < T_2$$

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 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.

$$n_1T_1 = n_2T_2 \Rightarrow n_2 = n_1\frac{T_1}{T_2} = 86400\sqrt{\frac{9/78}{9/8}} = 86312$$

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؟

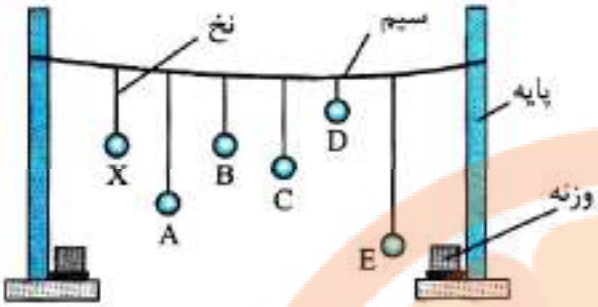
طبق رابطهٔ $l' = l(1 + \alpha\Delta\theta)$ با افزایش دما، طول آونگ و دورهٔ تناوب آن افزایش می‌یابد و مشابه قسمت قبل می‌توان نشان داد با افزایش دورهٔ تناوب حرکت، ساعت عقب می‌افتد.

۱۰ **هر فرد معمولاً با چرخش اندک بدنش به چپ و راست، راه می‌رود و بدین ترتیب نیروهای کوچکی به زمین زیر پایش وارد می‌کند. این نیروها بسامدی در حدود $0/5Hz$ 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.

@physicsjeroodi

(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.

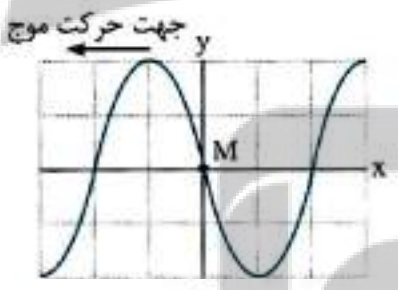
الف) با افزایش بسامد نوسان‌ساز کدام‌یک از کمیت‌های زیر تغییر نمی‌کند؟ بسامد موج، تندی موج، طول‌موج موج.

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.

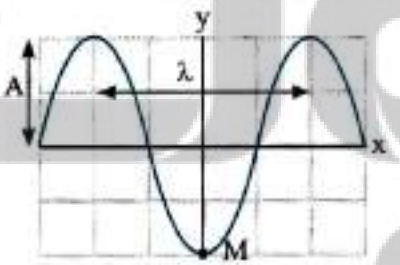
ب) حال اگر به جای افزایش بسامد، کشش ریسمان را افزایش دهیم، هر یک از کمیت‌های زیر چه تغییری می‌کند؟ بسامد موج، تندی موج، طول‌موج موج.

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.

(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/۴ 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 $\frac{T}{۴}$ به اندازهٔ $\frac{\lambda}{۴}$ 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 ۵/۰cm و تندی موج ۱۰cm/s باشد، بسامد موج را به دست آورید.

$$\lambda=۵cm\ ,\ v=۱۰\frac{cm}{s}\ ,\ f=?$$

$$\lambda=\frac{v}{f}\Rightarrow ۵=\frac{۱۰}{f}\Rightarrow f=۲Hz$$

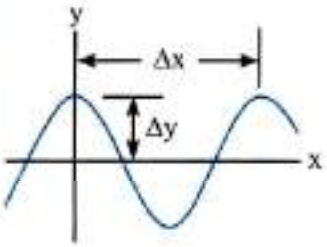
پ) تعیین کنید موج در مدت T/۴ چه مسافتی را پیموده است؟

$$t=\frac{T}{۴}\ ,\ \lambda=۵cm\ ,\ x=?$$

$$\left.\begin{matrix}x=vt\\ v=\frac{\lambda}{T}\end{matrix}\right\}\Rightarrow x=\frac{\lambda}{T}t\xrightarrow{t=\frac{T}{۴}}x=\frac{\lambda}{T}\times\frac{T}{۴}=\frac{\lambda}{۴}=\frac{۵}{۴}=۱/۲۵cm$$

@physicsjafroodi

۱۴ در نمودار جابه‌جایی-مکان موج عرضی شکل زیر $\Delta x = ۴۰/۰cm$ و $\Delta y = ۱۵/۰cm$ است. اگر بسامد نوسان‌های چشمه $۸/۰۰Hz$ باشد، طول‌موج، دامنه، تندی و دورهٔ تناوب موج چقدر است؟

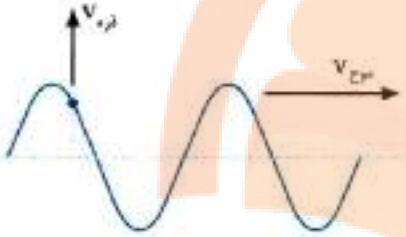


$$\lambda = \Delta x = ۴۰cm \ , \ A = \Delta y = ۱۵cm \ , \ f = ۸Hz$$

$$\lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow v = f\lambda = ۸ \times ۴۰ = ۳۲۰ \frac{cm}{s} = ۳/۲ \frac{m}{s}$$

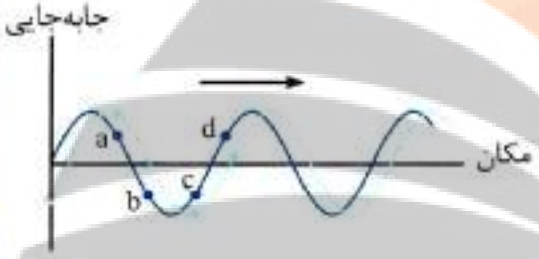
$$T = \frac{۱}{f} = \frac{۱}{۸} = ۰/۱۲۵s$$

۱۵ شکل زیر موجی عرضی در یک ریسمان را نشان می‌دهد که با تندی $v_{موج}$ به سمت راست حرکت می‌کند، در حالی که تندی 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.



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

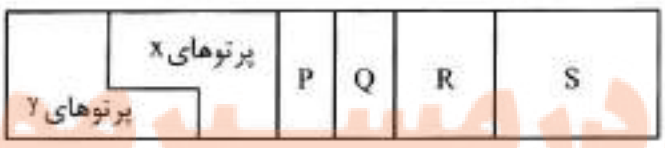
$$\rho = ۷/۸ \frac{g}{cm^۳} = ۷/۸ \frac{kg}{m^۳} \ , \ A = ۰/۵mm^۲ = ۰/۵ \times ۱۰^{-۶} m^۲ \ , \ F = ۱۵۶N \ , \ v = ?$$

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 با یک مقیاس تقریبی نشان می‌دهد.



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

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

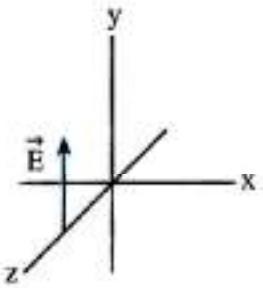
ب) اگر در طول طیف از چپ به راست حرکت کنیم، مقدار کدام مشخصه‌های موج افزایش یا کاهش می‌یابد و کدام ثابت می‌ماند؟

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

تلاشی درستی موفقیت

@physicsjam

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



با توجه به 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 $6/20\times10^{-7}\,m$ است. بسامد این نور چند هرتز است؟

$$v=c=3\times10^{8}\,\frac{m}{s},\ \lambda=6/2\times10^{-7}\,m,\ f=?\qquad f=\frac{c}{\lambda}=\frac{3\times10^{8}}{6/20\times10^{-7}}=4/84\times10^{14}\,Hz$$

ب) بسامد نور قرمز در حدود $4/30\times10^{14}\,Hz$ است. طول‌موج این نور را در هوا و آب حساب کنید. (سرعت نور را در هوا $3/00\times10^{8}\,m/s$ و در آب $2/25\times10^{8}\,m/s$ فرض کنید.)

$$f=4/30\times10^{14}\,Hz,\ v_{هوا}=3\times10^{8}\,\frac{m}{s},\ v_{آب}=2/25\times10^{8}\,\frac{m}{s}$$

هوا: $\lambda=\frac{v_{هوا}}{f}=\frac{3\times10^{8}}{4/30\times10^{14}}=6/98\times10^{-7}\,m$ آب: $\lambda=\frac{v_{آب}}{f}=\frac{2/25\times10^{8}}{4/30\times10^{14}}=5/23\times10^{-7}\,m$

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؟

$$f=10Hz,\ v=100\,\frac{m}{s},\ A=4cm,\ \lambda=?$$

فاصلهٔ بین دو تراکم متوالی برابر با طول‌موج است؛ بنابراین داریم:

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

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

فاصلهٔ بین یک تراکم و انبساط متوالی برابر با $\frac{\lambda}{2}$ است؛ بنابراین داریم:

$$\Delta x=\frac{\lambda}{2}=\frac{10}{2}=5m$$

۲۲) عقرب‌های ماسه‌ای وجود طعمه را با امواجی که بر اثر حرکت طعمه در ساحل شنی ایجاد می‌شود، احساس می‌کنند. این امواج که در سطح ماسه منتشر می‌شوند، بر دو نوع‌اند: امواج عرضی با تندی $v_T=50\,m/s$ و امواج طولی با تندی $v_L=150\,m/s$. 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 $\Delta t=4/0ms$ 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:

$$\Delta t=\frac{|\vec{d}|}{v_T}-\frac{|\vec{d}|}{v_L}=|\vec{d}|\left(\frac{1}{v_T}-\frac{1}{v_L}\right)=|\vec{d}|\left(\frac{v_L-v_T}{v_Tv_L}\right)\Rightarrow|\vec{d}|=\left(\frac{v_Tv_L}{v_L-v_T}\right)\Delta t=\left(\frac{150\times50}{150-50}\right)\times4\times10^{-3}=0/3m$$

@physicsjeffoodi

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؟

$$f = ۶/۷\text{MHz} = ۶/۷\times۱۰^{۶}\,\text{Hz}\ ,\ \omega = ?\qquad \omega = ۲\pi f = ۲\pi(۶/۷\times۱۰^{۶}) = ۱۳/۴\pi\times۱۰^{۶}\,\frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

ب) اگر تندی موج صوتی در بافتی نرم از بدن ۱۵۰۰m/s باشد، طول‌موج این موج در این بافت چقدر است؟

$$f = ۶/۷\times۱۰^{۶}\,\text{Hz}\ ,\ v = ۱۵۰۰\frac{\text{m}}{\text{s}}\ ,\ \lambda = ?\qquad \lambda = \frac{v}{f} = \frac{۱۵۰۰}{۶/۷\times۱۰^{۶}} = ۲/۲۳۸\times۱۰^{-۳}\,\text{m}$$

۲۵ **تندی صوت در یک فلز خاص، برابر $v_{\text{فلز}}$ 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 $v_{\text{هوا}}$ 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:

$$\Delta t = \frac{L}{v_{\text{هوا}}} - \frac{L}{v_{\text{فلز}}} = L\left(\frac{۱}{v_{\text{هوا}}} - \frac{۱}{v_{\text{فلز}}}\right)$$

ب) اگر $\Delta t = ۱/۰۰\text{s}$ و فلز از جنس فولاد باشد، طول L لوله چقدر است؟ $(v_{\text{هوا}} = ۳۴۰\text{m/s})$

با استفاده از جدول ۳ - ۱ صفحهٔ ۷۹ کتاب درسی داریم: $v_{\text{فولاد}} = ۵۹۴۱\frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$\Delta t = L\left(\frac{۱}{v_{\text{هوا}}} - \frac{۱}{v_{\text{فولاد}}}\right) \Rightarrow ۱ = L\left(\frac{۱}{۳۴۰} - \frac{۱}{۵۹۴۱}\right) \Rightarrow L = ۳۶۰/۶\text{m}$$

۲۶ **موجی صوتی با توان $۱/۲\times۱۰^{-۴}\,\text{W}$ عمود بر جهت انتشار از دو صفحهٔ فرضی (شکل ۳-۲۶) می‌گذرد. با فرض اینکه مساحت صفحه‌ها به ترتیب $A_۱ = ۴/۰\text{m}^۲$ و $A_۲ = ۱۲\text{m}^۲$ باشد، شدت صوت در دو سطح را تعیین کنید و توضیح دهید چرا شنونده در محل صفحهٔ دوم، صدا را آهسته‌تر می‌شنود.**

$$\bar{P} = ۱/۲\times۱۰^{-۴}\,\text{W}\ ,\ A_۱ = ۴\text{m}^۲\ ,\ A_۲ = ۱۲\text{m}^۲\ ,\ I_۱ = ?\ ,\ I_۲ = ?$$

$$I_۱ = \frac{\bar{P}}{A_۱} = \frac{۱/۲\times۱۰^{-۴}}{۴} = ۰/۳\times۱۰^{-۴}\,\frac{\text{W}}{\text{m}^۲}\qquad I_۲ = \frac{\bar{P}}{A_۲} = \frac{۱/۲\times۱۰^{-۴}}{۱۲} = ۱۰^{-۵}\,\frac{\text{W}}{\text{m}^۲}$$

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.

@physicsjeroodi

(۲۷) شدت صدای حاصل از یک متهٔ سنگ‌شکن در فاصلهٔ ۱۰/۰m از آن $۱/۰\times۱۰^{-۲}\,W/m^۲$ است. تراز شدت صوتی آن برحسب dB چقدر می‌شود؟

$$I=۱/۰\times۱۰^{-۲}\frac{W}{m^۲}\,,\ I_۰=۱۰^{-۱۲}\frac{W}{m^۲}\,,\ \beta=?dB$$

$$\beta=۱۰\log(\frac{I}{I_۰})=۱۰\log(\frac{۱/۰\times۱۰^{-۲}}{۱۰^{-۱۲}})=۱۰\log۱۰^{۱۰}=۱۰۰\log۱۰=۱۰۰dB$$

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

$$\beta_۱=۲۸dB\,,\ \beta_۲=۹۲dB\,,\ I_۱=?\,,\ I_۲=?$$

$$\beta_۱=۱۰\log(\frac{I_۱}{I_۰})\Rightarrow۲۸=۱۰\log(\frac{I_۱}{۱۰^{-۱۲}})\Rightarrow۲/۸=\log(\frac{I_۱}{۱۰^{-۱۲}})\Rightarrow۱۰^{۲/۸}=\frac{I_۱}{۱۰^{-۱۲}}\Rightarrow I_۱=۱۰^{۲/۸}\times۱۰^{-۱۲}=۱۰^{-۹/۲}$$

$$=۶/۳\times۱۰^{-۱۰}\frac{W}{m^۲}$$

$$\beta_۲=۱۰\log(\frac{I_۲}{I_۰})\Rightarrow۹۲=۱۰\log(\frac{I_۲}{I_۰})\Rightarrow۹/۲=\log(\frac{I_۲}{۱۰^{-۱۲}})\Rightarrow۱۰^{۹/۲}=\frac{I_۲}{۱۰^{-۱۲}}\Rightarrow I_۲=۱۰^{۹/۲}\times۱۰^{-۱۲}=۱۰^{-۲/۸}$$

$$=۱/۵۸\times۱۰^{-۳}\frac{W}{m^۲}$$

(۲۹) یک دستگاه صوتی، صدایی با تراز شدت $\beta_۱=۹۰/۰dB$ و دستگاه صوتی دیگر، صدایی با تراز شدت $\beta_۲=۹۵/۰dB$ ایجاد می کند. شدت‌های مربوط به این دو تراز (برحسب $W/m^۲$) به ترتیب $I_۱$ و $I_۲$ هستند. نسبت $I_۲/I_۱$ تعیین کنید.

$$\beta=۱۰\log(\frac{I}{I_۰})\Rightarrow\beta_۲-\beta_۱=۱۰\log(\frac{I_۲}{I_۰})-۱۰\log(\frac{I_۱}{I_۰})=۱۰\log(\frac{\frac{I_۲}{I_۰}}{\frac{I_۱}{I_۰}})=۱۰\log\frac{I_۲}{I_۱}\Rightarrow۹۵-۹۰=۱۰\log\frac{I_۲}{I_۱}$$

$$\Rightarrow۰/۵=\log\frac{I_۲}{I_۱}\Rightarrow\frac{I_۲}{I_۱}=۱۰^{۰/۵}=۳/۱۶$$

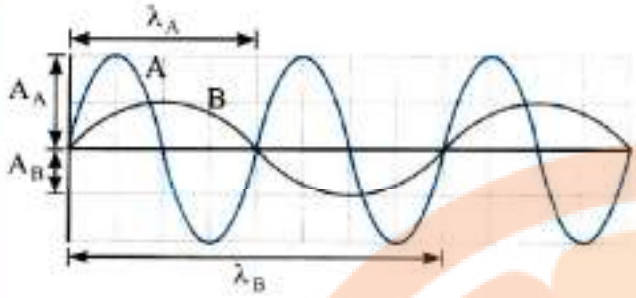
(۳۰) در یک آتش‌بازی، موشکی در بالای آسمان منفجر می‌شود. فرض کنید صوت به طور یکنواخت در تمام جهت‌ها منتشر شود. از جذب انرژی صوتی در محیط و نیز از بازتابی که ممکن است امواج صوتی از زمین پیدا کند چشم پوشی کنید. با فرض اینکه صوت با شدت $I=۰/۱۰W/m^۲$ به شنونده‌ای برسد که به فاصلهٔ $r_۱=۶۴۰m$ از محل انفجار قرار دارد، این صوت به شنونده‌ای که در فاصلهٔ $r_۲=۱۶۰m$ از محل انفجار قرار دارد با چه شدتی می‌رسد؟

$$I_۱=۰/۱\frac{W}{m^۲}\,,\ r_۱=۶۴۰m\,,\ r_۲=۱۶۰m\,,\ I_۲=?$$

$$I=\frac{P}{A}=\frac{P}{۴\pi r^۲}\Rightarrow\frac{I_۲}{I_۱}=\frac{\frac{P}{۴\pi r_۲^۲}}{\frac{P}{۴\pi r_۱^۲}}=(\frac{r_۱}{r_۲})^۲\Rightarrow\frac{I_۲}{۰/۱}=(\frac{۶۴۰}{۱۶۰})^۲\Rightarrow I_۲=۰/۱\times۱۶=۱/۶\frac{W}{m^۲}$$

@physicsjeebook

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



محیط انتشار هر دو موج یکسان است، بنابراین $v_A = v_B$.

با توجه به شکل داریم:

$$\lambda_B = ۲\lambda_A \ , \ A_A = ۲A_B$$

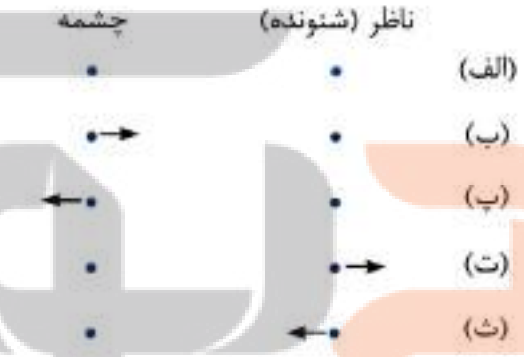
از طرفی با توجه به رابطهٔ $\lambda = \frac{v}{f}$ داریم:

$$\lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow \frac{f_A}{f_B} = \frac{\frac{v_A}{\lambda_A}}{\frac{v_B}{\lambda_B}} = \frac{\lambda_B}{\lambda_A} = ۲ \Rightarrow f_A = ۲f_B$$

می‌دانیم مقدار متوسط آهنگ انتقال انرژی (توان متوسط) در یک موج سینوسی برای همهٔ انواع امواج مکانیکی با مربع دامنه ($A^۲$) و نیز مربع بسامد ($f^۲$) 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 ($I = \frac{\bar{P}}{A} = \frac{\bar{P}}{۴\pi r^۲}$) می‌توان نوشت:

$$\frac{I_A}{I_B} = (\frac{f_A}{f_B})^۲ (\frac{A_A}{A_B})^۲ (\frac{r_B}{r_A})^۲ = (\frac{۲f_B}{f_B})^۲ (\frac{۲A_B}{A_B})^۲ (۱) = ۱۶ \Rightarrow I_A = ۱۶I_B$$

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.

@physicsjelroodi

فعالیت (۴-۱) صفحهٔ ۹۱ 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 (۴-۲) صفحهٔ ۹۲ 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 براساس 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

@physicsjeyood

یا الکترومغناطیسی تولید می‌شوند. امواج شوک تولیدی در نقطه 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.

تمرین (۴-۱) صفحهٔ ۹۳ 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 (۴-۳) صفحهٔ ۹۳ 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 موردنظر را نسبت به منبع رادار مشخص می‌کند.

پرسش (۴-۱) صفحهٔ ۹۵ کتاب درسی

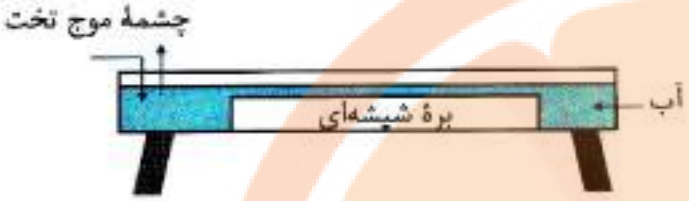
اگر موج سینوسی از قسمت ضخیم طناب به قسمت نازک آن وارد شود، بسامد، تندی، و طول‌موج موج عبوری در مقایسه با موج فرودی چه تغییری می‌کند؟

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 رابطه $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$، تندی موج عبوری افزایش می‌یابد. بنابراین با ثابت ماندن بسامد، طبق رابطهٔ $\lambda = \frac{v}{f}$ طول‌موج نیز

@physicsjeroodi

تمرین(۴-۲) صفحهٔ ۹۶ 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(۴-۳) صفحهٔ ۹۷ کتاب درسی

در تمرین ۴-۲ با فرض اینکه زاویهٔ تابش امواج برابر ۳۰° باشد، زاویهٔ شکست چقدر می‌شود؟

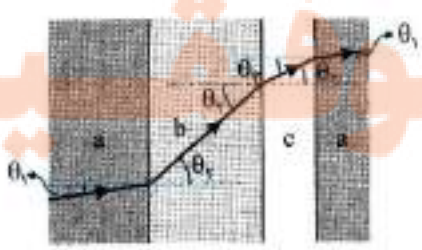
$$v_2 = 0/4v_1 \ , \ \theta_1 = 30^\circ \ , \ \theta_2 = ?$$

با استفاده از قانون شکست عمومی خواهیم داشت:

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

پرسش(۴-۲) صفحهٔ ۹۷ 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:

$$\theta_2 > \theta_3 > \theta_1 \Rightarrow v_b > v_c > v_a$$

@physicsjfroodi

پرسش(۴-۳)

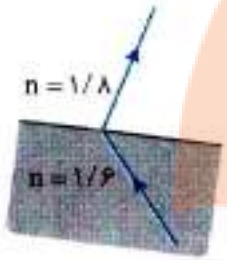
صفحهٔ ۹۹ کتاب درسی

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

(الف)

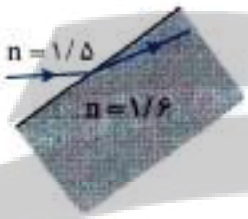
در شکل (الف) ضریب‌شکست محیط دوم بیشتر از محیط اول است (۱/۶ > ۱/۴) پس زاویهٔ تابش باید بزرگ‌تر از زاویهٔ شکست باشد و پرتوی نور به خط عمود نزدیک شود. بنابراین این اتفاق ممکن است.

(ب)



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

(پ)



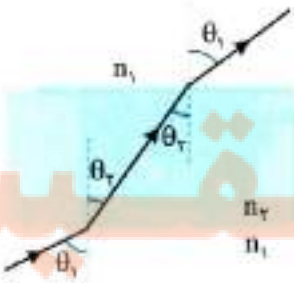
در شکل (پ) ضریب‌شکست محیط دوم بیشتر است (۱/۶ > ۱/۵) بنابراین زاویهٔ شکست باید کوچک‌تر از زاویهٔ تابش باشد اما در شکل پرتوی شکست از خط عمود دور شده است که از لحاظ فیزیکی ناممکن است.

فعالیت (۴-۴)

صفحهٔ ۹۹ 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.



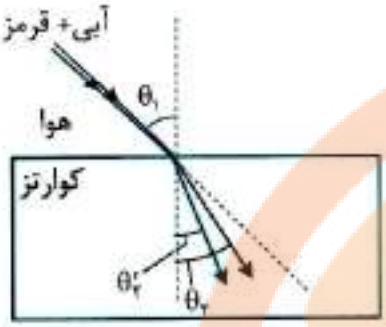
$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \Rightarrow 1 \times \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \Rightarrow n_2 = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$$

@physicsjeffoodi

تمرین(۴-۴)

صفحهٔ ۱۰۰ 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 پرتوی آبی می‌توان نوشت:

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

پرسش(۴-۴)

صفحهٔ ۱۰۲ کتاب درسی

در تلویزیون‌های متداول، سیگنال‌ها از آنتن‌های روی دکل‌ها به گیرنده‌های تلویزیون فرستاده می‌شود. حتی وقتی گیرنده به دلیل وجود یک تپه یا ساختمان در معرض ارسال مستقیم امواج یک آنتن نباشد، همچنان سیگنال را به دلیل پراش امواج از لبه‌های مانع دریافت خواهد کرد (اگر سیگنال در اطراف آن مانع به حد کافی به داخل «ناحیهٔ سایه» مانع پراشیده شود). سابق بر این، طول‌موج سیگنال‌های تلویزیونی در حدود 50cm بود، ولی طول‌موج سیگنال‌های تلویزیونی دیجیتالی که امروزه از آنتن‌ها فرستاده می‌شود بسیار کمتر است. آیا این تغییر طول‌موج، پراش سیگنال‌ها به داخل ناحیهٔ سایه را افزایش می‌دهد یا کاهش؟

هرچه ابعاد مانع نسبت به طول‌موج بزرگ‌تر باشد میزان پراش و گسترده شدن امواج به داخل ناحیهٔ سایه کاهش می‌یابد.

تمرین(۴-۵)

صفحهٔ ۱۰۷ کتاب درسی

سنگین‌ترین تار یک گیتار الکتریکی دارای چگالی خطی جرمی $5/28\times10^{-3}\,\text{kg/m}$ است و تحت کشش 226N قرار دارد. این تار در هنگام ارتعاش، نُتی با بسامد $164/8\text{Hz}$ را ایجاد می‌کند که بسامد اصلی تار است.

الف) طول تار را به دست آورید.

$$\mu = 5/28\times10^{-3}\,\frac{\text{kg}}{\text{m}} \ , \ F = 226\text{N} \ , \ f_1 = 164/8\text{Hz} \ , \ L = ?$$

با در نظر گرفتن بسامد اصلی $n = 1$ داریم:

$$\left.\begin{aligned} f_1 &= \frac{v}{2L} \\ v &= \sqrt{\frac{F}{\mu}} \end{aligned}\right\} \Rightarrow f_1 = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{F}{\mu}} \Rightarrow L = \frac{1}{2f}\sqrt{\frac{F}{\mu}} = \frac{1}{2\times164/8}\times\sqrt{\frac{226}{5/28\times10^{-3}}} = 0/628\text{m}$$

ب) پس از مدتی که یک نوازنده، این گیتار را می‌نوازد، در نتیجهٔ گرم شدن و شُل شدنِ تارها، نیروی کشش تار مورد نظر کاهش می‌یابد و به 209N می‌رسد. در این حالت بسامد اصلی این تار چقدر شده است؟

$$F' = 209\text{N} \ , \ f'_1 = ?$$

$$f'_1 = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{F'}{\mu}} = \frac{1}{2\times0/628}\times\sqrt{\frac{209}{5/28\times10^{-3}}} = 158/4\text{Hz}$$

@physicsjeljoo

پرسش(۴-۵) صفحهٔ ۱۰۷ کتاب درسی

الف) چرا با سفت کردن سیم گیتار، بسامدی را که هنگام نواختن می‌شنوید زیاد می‌شود؟

با افزایش نیروی کشش سیم طبق رابطهٔ $v=\sqrt{\frac{F}{\mu}}$ تندی انتشار موج در سیم افزایش یافته و طبق رابطهٔ $f_n=\frac{nv}{2L}$ بسامد هماهنگ‌های سیم نیز افزایش می‌یابد.

ب) چرا نوازندگان گیتار پیش از نواختن روی صحنهٔ نمایش، گیتار را به حد کافی می‌نوازند و سپس آن را مجدداً کوک می‌کنند؟

زیرا ممکن است سیم‌های گیتار در اثر اجراهای قبلی و یا تفاوت دمای صحنهٔ نمایش با محل قبلی که گیتار در آنجا کوک شده کمی شل یا سفت شده باشند و از کوک خارج شده باشند.

پرسش(۴-۶) صفحهٔ ۱۰۸ کتاب درسی

چرا وقتی آب را به درون ظرفی با دیواره‌های قائم مثل لیوان یا پارچ می‌ریزید، بسامد صدایی که می‌شنوید افزایش می‌یابد، یعنی صدای زیرتر و زیرتری را می‌شنوید؟ (راهنمایی: صدای حاصل از پرشدن ظرف گسترهٔ وسیعی از بسامدها را دارد که در هر لحظه، یکی از آنها با پایین‌ترین بسامد تشدیدی هوای درون ظرف - بسامد مد اول - منطبق است.)

با بالا آمدن سطح آب داخل ظرف طول لولهٔ صوتی با یک انتهای باز کاهش می‌یابد. بنابراین پایین‌ترین بسامد تشدیدی هوای درون ظرف که از رابطهٔ $f=\frac{v}{4L}$ به دست می‌آید بیشتر شده و صدا زیرتر شنیده خواهد شد.

فعالیت(۴-۶) صفحهٔ ۱۰۹ کتاب درسی

یک بلندگو را در برابر دهانهٔ یک تشدیدگر هلمهولتز با بسامدهای تشدیدی معیّن قرار دهید و جلوی زائدهٔ خروجی آن یک شمع روشن یا یک فرفرهٔ کوچک و کم اصطکاک بگذارید. بسامد صوت ایجادشده توسط بلندگو را در نزدیکی بسامد تشدید تشدیدگر آن‌قدر کم و زیاد کنید تا شعلهٔ شمع، منحرف شود و یا فرفره شروع به چرخیدن کند. در صورتی که منبع صوتی با بسامد قابل تنظیم ندارید می‌توانید از چند دیاپازون با بسامدهای معلوم و متفاوت، که بسامد یکی از آنها با یکی از بسامدهای تشدیدی تشدیدگر برابر باشد، استفاده کنید. دلیل آنچه را که مشاهده می‌کنید در گروه خود به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس گزارش دهید. تشدیدگر هلمهولتز بسامدهای تشدیدی معینی دارد. با تغییر بسامد بلندگو، طیفی از بسامدها حاصل می‌شود و وقتی بسامد بلندگو با بسامد تشدیدی تشدیدگر برابر شود تشدید رخ می‌دهد و یک موج صوتی قوی تولید می‌گردد. هنگامی‌که این صوت از محیط اطراف شمع یا فرفره می‌گذرد مولکول‌های هوا را به شدت به حرکت وا می‌دارد و باعث انحراف شعلهٔ شمع یا حرکت فرفره می‌شود.

پرسش(۴-۷) صفحهٔ ۱۱۰ کتاب درسی

با دمیدن در بطری‌های یکسان با سطوح مایع مختلف می‌توان آهنگی با بسامدهای متفاوت ایجاد کرد. دلیل آن چیست؟

بطری‌های نیمه‌پر با سطوح مختلف مایع مانند لولهٔ صوتی با یک انتهای باز هستند که هرکدام بسامدهای تشدیدی معینی دارد و یک تشدیدگر هلمهولتز تشکیل می‌دهند. به این ترتیب با تنظیم میزان مایع درون بطری‌ها می‌توان بسامدهای مشخصی را با استفاده از دمیدن در بطری‌ها ایجاد کرد و آهنگ موردنظر را نواخت.

تلاشی در مسیر موفقیت

@physicsjeroodi

فعالیت (۴-۷) ..... صفحهٔ ۱۱۰ کتاب درسی

تداخل در امواج الکترومغناطیسی (آزمایش هرتز): اگرچه ماکسول پیش از پایان قرن نوزدهم وجود امواج الکترومغناطیسی را پیش‌بینی کرده بود، این هرتز بود که با آزمایش‌های تداخلی خود که به تولید موج‌های الکترومغناطیسی ایستاده انجامید، وجود موج‌های الکترومغناطیسی را در گسترهٔ بسامد رادیویی اثبات کرد. هاینریش هرتز در سال ۱۸۸۸ میلادی با وسایل ابتدایی آن زمان این آزمایش را به انجام رسانید. در مورد چگونگی آزمایش هرتز تحقیق کنید.

هرتز مداری الکتریکی درگوشه‌ای از آزمایشگاه خود ترتیب داد که جرقه تولید می‌کرد. سپس مدار مشابه دیگری را در گوشهٔ دیگری از اتاق تاریک آزمایشگاه خود مستقر کرد. به این ترتیب توانست به‌طور همزمان جرقهٔ دیگری را در مدار مقابل ثبت کند که نشان‌دهندهٔ وجود امواجی بود که با سرعت نور منتقل می‌شوند و برای انتقال به محیط مادی نیاز ندارند بر این اساس وی توانست وجود امواج نامرئی الکترومغناطیسی را اثبات کند.

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل (۴) ..... صفحهٔ ۱۱۱ تا ۱۱۴ کتاب درسی

۱ 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:

$$۲x_۱ = v(۲t_۱) \Rightarrow ۲\times ۲۴۰ = ۱/۵v \Rightarrow v = \frac{۴۸۰}{۱/۵} = ۳۲۰\frac{m}{s}$$

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:

$$۲x_۲ = v(۲t_۲) \Rightarrow ۲x_۲ = ۳۲۰\times(۱/۵+۱) \Rightarrow x_۲ = \frac{۳۲۰\times ۲/۵}{۲} = ۴۰۰m$$

به این ترتیب فاصلهٔ دو صخره برابر است با:

$$x_۱ + x_۲ = ۲۴۰m + ۴۰۰m = ۶۴۰m$$

۲ 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.

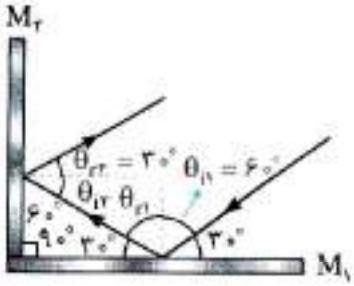
با توجه به اینکه پله‌ها در فواصل متفاوتی نسبت به شنونده قرار دارند و با ثابت بودن سرعت صوت طبق رابطهٔ $x = \frac{v}{t}$ زمان رفت و برگشت صوت نسبت به هر پله متفاوت است و به این ترتیب پژواک‌های پی‌درپی حاصل از برخورد صوت با پله‌ها به گوش می‌رسد که با توجه به فاصلهٔ زمانی کوتاه بین آنها، به صورت مجزا قابل‌تشخیص نیستند.

۳ 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.

@physicsjeroodi

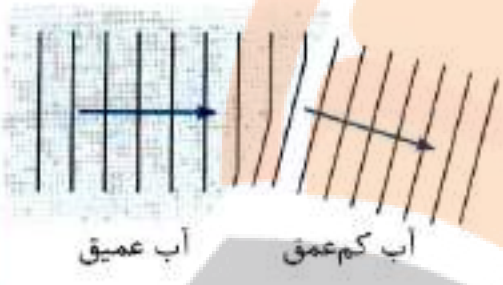
۴ **در شکل زیر پرتوهای بازتابیده از آینه های تخت M_1 و M_2 را رسم کنید.**



با استفاده از قانون بازتاب عمومی همواره $\theta_i = \theta_r$.

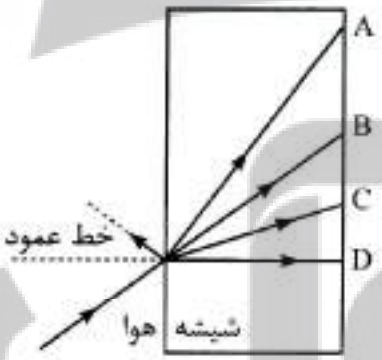
توجه داشته باشید که مجموع زوایای داخلی هر مثلث ۱۸۰ درجه است.

۵ **با رسم شکلی از جبهه‌های موج توضیح دهید چگونه جهت انتشار جبهه‌های موج با رسیدن به یک ساحل شیب‌دار، تغییر می‌کند.**



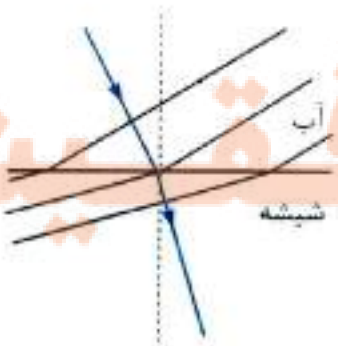
می‌دانیم تندی امواج روی سطح آب به عمق آب بستگی دارد. با ورود موج به ناحیهٔ کم‌عمق، تندی موج سطحی کاهش یافته و بخشی که زودتر به این ناحیه رسیده چون با تندی کمتر حرکت می‌کند، از بقیهٔ موج که هنوز وارد این ناحیه نشده عقب می‌افتد، بنابراین فاصلهٔ بین جبهه‌های موج در ناحیهٔ کم‌عمق کاهش یافته و باعث تغییر جهت موج در مرز دو ناحیه می‌شود.

۶ **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.

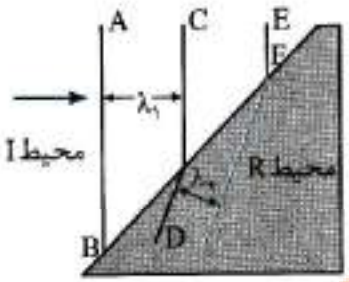
۷ **ضریب‌شکست آب ۱/۳ و ضریب‌شکست شیشه ۱/۵ است. اگر نوری به طور مایل از آب به مرز شیشه با آب بتابد، با رسم نموداری، جبهه‌های موج را در دو محیط نشان دهید.**



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.

@physicsjafroodi

(۸) شکل زیر جبهه‌های موجی را نشان می‌دهد که بر مرز بین محیط I و محیط R فرود آمده‌اند.

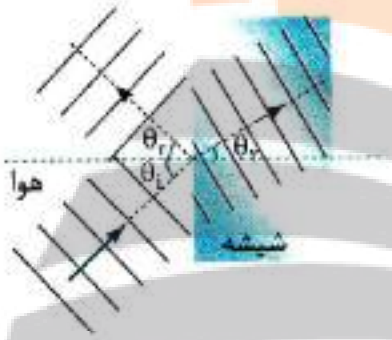


الف) ادامهٔ جبههٔ موج EF را در محیط R رسم کنید. جبهه‌های موج تخت در یک محیط با هم موازی هستند بنابراین می‌توان سایر آنها را از نقاط برخورد با مرز جدایی دو محیط به صورت جبهه‌های موازی با امتداد جبههٔ موج CD در محیط R رسم کرد.

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. $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2}$

(۹) 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.

(۱۰) طول‌موج نور قرمز لیزر هلیم-نئون در هوا حدود ۶۳۳nm است، ولی در زجاجیهٔ چشم ۴۷۴nm است.

الف) بسامد این نور چقدر است؟

$$\lambda_1 = 633\,nm = 633\times10^{-9}\,m\ ,\ f_1 = ?$$

سرعت نور در هوا تقریباً برابر سرعت نور در خلأ است ($v_1 = c = 3\times10^8\ \frac{m}{s}$)، پس بسامد نور لیزر برابر است با:

$$f = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3\times10^8}{633\times10^{-9}} = 4/74\times10^{14}\,Hz$$

ب) ضریب‌شکست زجاجیه برای این نور چقدر است؟

$$\lambda_1 = 633\,nm\ ,\ \lambda_2 = 474\,nm\ ,\ n_1 = 1\ ,\ n_2 = ?$$

$$\lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} \xrightarrow{v=\frac{c}{n}} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \frac{633}{474} = \frac{n_2}{1} \Rightarrow n_2 = 1/335$$

پ) تندی این نور در زجاجیه را محاسبه کنید.

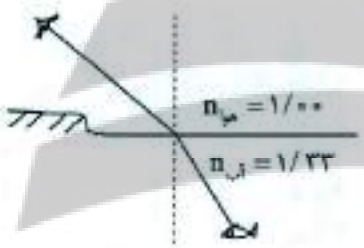
$$v_2 = \frac{c}{n_2} = \frac{3\times10^8}{1/335} = 2/247\times10^8\ \frac{m}{s}$$

تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjeroom

(۱۱) 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.

(۱۲) 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؟



$$n_۱ = n_{آب} = ۱/۳۳ \ , \ n_۲ = n_{هوا} = ۱ \ , \ \theta_۱ = ۹۰^\circ - ۶۰^\circ = ۳۰^\circ \ , \ \theta_۲ = ?$$

$$n_۱ \sin\theta_۱ = n_۲ \sin\theta_۲ \Rightarrow ۱/۳۳ \sin ۳۰^\circ = ۱ \sin\theta_۲$$

$$\Rightarrow \sin\theta_۲ = \frac{۱/۳۳}{۲} \Rightarrow \theta_۲ \simeq ۴۲^\circ$$

(۱۳) 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 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.

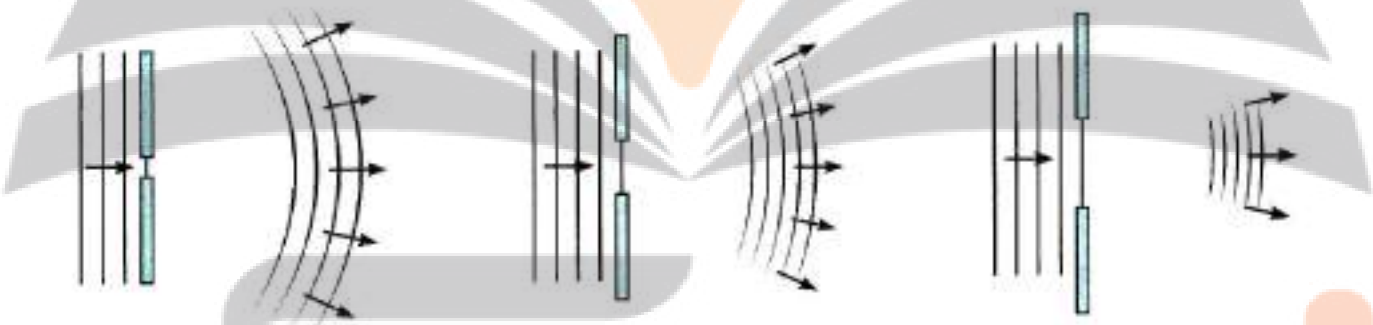
@physicsjeroodi

(۱۴) 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 می توان 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.

(۱۵) در یک تشت موج، مطابق شکل زیر، موج تختی ایجاد شده است. توضیح دهید با باریک کردن شکاف‌ها چه شکلی برای جبهه‌های موج خروجی از آنها حاصل می‌شود.

با اندازه‌گیری و مقایسهٔ طول‌موج λ یعنی فاصلهٔ بین جبهه‌های موج فرودی و پهنای شکاف a می‌توان پیش‌بینی کرد که جبهه‌های موج پس از عبور از شکاف چگونه خواهند بود. در شکل (الف) پهنای شکاف خیلی بزرگ‌تر از طول‌موج است، بنابراین قسمتی از طول‌موج که از شکاف می‌گذرد تقریباً تخت باقی‌می‌ماند. در شکل (ب) پهنای شکاف کمتر شده است اما همچنان از طول‌موج بیشتر است، بنابراین قسمتی از موج که از شکاف می‌گذرد از حالت تخت خارج شده و به اطراف گسترده می‌شود. در شکل (پ) پهنای شکاف تقریباً در حدود طول‌موج است، بنابراین موج عبوری کاملاً از حالت تخت خارج شده و به اطراف گسترده می‌شود. در واقع وقتی موج از شکافی با پهنای هم‌مرتبه با طول‌موج عبور می‌کند به اطراف گسترده شده و اصطلاحاً پراشیده می‌شود.



(الف) (ب) (پ)

(۱۶) گوشی‌های همراه با امواج رادیویی با بسامد حدود ۲GHz کار می‌کنند. توضیح دهید این امواج تحت چه شرایطی از موانع پراشیده می‌شوند و به منطقهٔ سایهٔ مانع می‌رسند.

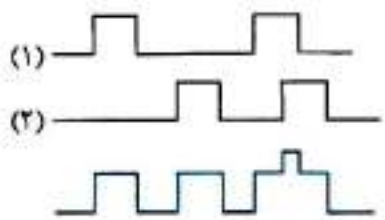
هنگامی که اندازهٔ مانع در حدود طول‌موج باشد بخشی از موج که از لبه‌ها عبور می‌کند به وضوح به اطراف مانع گسترده می‌شود. طول‌موج امواج رادیویی با بسامد ۲GHZ برابر است با:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{۳\times۱۰^{۸}}{۲\times۱۰^{۹}} = ۱/۵\times۱۰^{-۱}\,m = ۱۵cm$$

بنابراین اگر ابعاد مانع از مرتبهٔ چند ده سانتی‌متر باشد، به خوبی از لبه‌ها پراشیده شده و به منطقهٔ سایهٔ مانع می‌رسد.

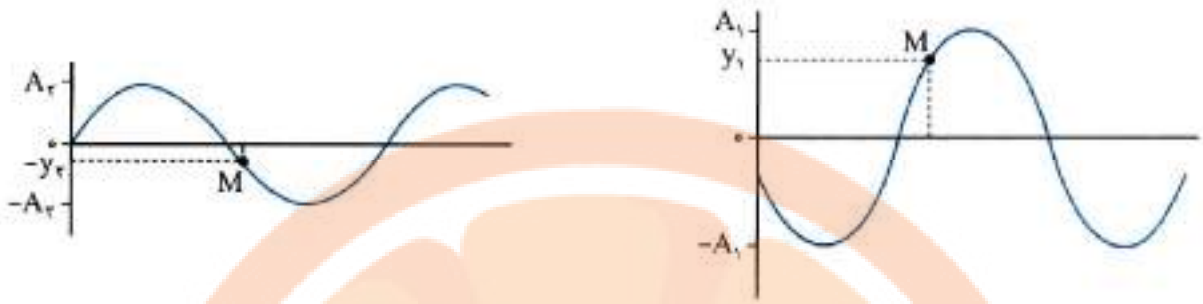
(۱۷) در شکل‌های زیر، وقتی موج ۱ بر موج ۲ برهم نهاده شود شکل موج برهم نهاده را رسم کنید.

موج برهم نهاده از برآیند دو موج در هر نقطه حاصل می‌شود.



@physicsjeroodi

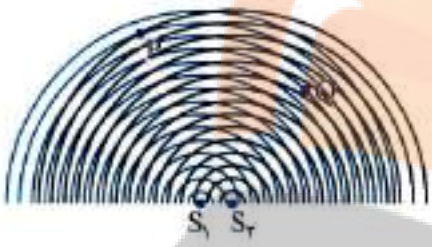
۱۸ شکل‌های زیر نمودار جابه‌جایی-مکان دو موج را در لحظهٔ معیّنی نشان می‌دهد. جابه‌جایی برایند نقطهٔ M در این لحظه چقدر است؟



جابه‌جایی برآیند نقطهٔ M جمع جبری جابه‌جایی‌های حاصل از دو موج است.

$$y = y_1 + (-y_2)$$

۱۹ دو چشمهٔ نقطه‌ای S_1 و S_2 به طور هم‌زمان، با بسامد یکسان، و همگام با یکدیگر در یک تشت موج نوسان می‌کنند و جبهه‌های موجی را مطابق شکل زیر به وجود می‌آورند. توضیح دهید دامنهٔ موج برایند در نقطه‌های P و Q چگونه است؟



در نقطهٔ P نقاط هم‌فاز دو موج بر هم نهاده شده‌اند بنابراین در این نقطه دو موج اثر یکدیگر را تقویت کرده و تداخل سازنده ایجاد می‌شود دامنهٔ موج در این نقطه برابر با مجموع دامنهٔ هر یک از موج‌هاست. در نقطهٔ Q نقاط غیر هم‌فاز دو موج بر هم نهاده شده‌اند بنابراین در این نقطه دو موج اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند و تداخل ویرانگر ایجاد می‌شود. دامنهٔ موج در این نقطه از اختلاف دامنهٔ دو موج به دست می‌آید.

۲۰ در آزمایش تداخل صوتی (شکل ۴-۳۱ کتاب)، فاصلهٔ بین هر نقطهٔ با صدای بالا (L) تا نقطهٔ با صدای ضعیف (S) مجاورش، متناسب با طول‌موج موج صوتی به کار رفته در این آزمایش است. برای آنکه این آزمایش به سادگی انجام‌پذیر باشد باید فاصلهٔ نقطه‌های S و L مجاور نه خیلی زیاد، و نه خیلی کم باشد.

الف) بسامد صوت گسیل شده از بلندگوها را چگونه تغییر دهیم تا نقطه‌های S و L مجاور به هم نزدیک شوند؟ برای نزدیک شدن نقاط S و L یا کم شدن فواصل نقاط تداخل سازنده و ویرانگر باید طول‌موج را کاهش داد پس بسامد باید افزایش یابد.

ب) بسامد صوت گسیل شده از بلندگوها را چگونه تغییر دهیم تا نقطه‌های S و L مجاور از هم دور شوند؟ برای دور شدن نقاط S و L یا افزایش فواصل نقاط تداخل سازنده و ویرانگر باید طول‌موج را افزایش داد، بنابراین طبق رابطهٔ $\lambda = \frac{v}{f}$ بسامد باید کاهش یابد.

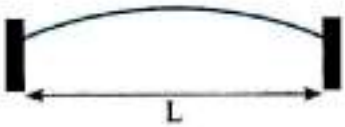
۲۱ در آزمایش یانگ، الف) اگر آزمایش را به جای نور تکفام سبز با نور تکفام قرمز انجام دهیم پهنای هر نوار تاریک یا روشن چه تغییری می‌کند؟ در آزمایش تداخل یانگ، پهنای هر نوار تاریک و روشن متناسب با طول‌موج است. بنابراین توجه به اینکه طول‌موج نور قرمز بیشتر از طول‌موج نور سبز است، پهنای نوارها افزایش می‌یابد.

ب) اگر آزمایش را به جای آنکه در هوا انجام دهیم، در آب انجام دهیم، پهنای هر نوار تاریک یا روشن چه تغییری می‌کند؟

ضریب‌شکست آب از هوا بیشتر است، بنابراین تندی انتشار نور و طول‌موج نور در آب کمتر از هوا خواهد بود و پهنای نوارها در آب کمتر از هوا خواهد شد.

@physicsjeroodi

(۲۲) تاری که بین دو تکیه‌گاه محکم شده است در هماهنگ اول خود با بسامد f به نوسان درمی‌آید. شکل زیر جابه‌جایی تار در $t=0$ را نشان می‌دهد.



الف) جابه‌جایی تار را در $t=\frac{1}{4f}$ و $t=\frac{1}{2f}$ رسم کنید.

$$t_1=\frac{1}{4f}=\frac{T}{4}\ ,\ t_2=\frac{1}{2f}=\frac{T}{2}$$

در لحظهٔ $t=0$ جابه‌جایی تمام نقاط روی تار بیشینه است. بنابراین در زمان $t_1=\frac{T}{4}$ ثانیه، تمام نقاط روی تار در حالت تعادل (جابه‌جایی صفر) و در زمان $t_2=\frac{T}{2}$ در مکان کمینه قرار می‌گیرند و شکل تار در این دو زمان به صورت زیر خواهد بود.

$t_1=\frac{T}{4}$ $\qquad$ $t_2=\frac{T}{2}$

ب) فاصلهٔ بین تکیه‌گاه‌ها $1/0m$ است. اگر تندی موج عرضی در تار $240m/s$ باشد، بسامد نوسان تار چقدر می‌شود؟

$$L=1m\ ,\ v=240\frac{m}{s}\ ,\ f_1=?$$

$$f_n=\frac{nv}{2L}\Rightarrow f_1=\frac{1\times240}{2\times1}=120Hz$$

(۲۳) تار ویولنی که طول آن $15/0cm$ است و در دو انتها بسته شده است، در مُد $n=1$ خود نوسان می‌کند. تندی موج عرضی در این تار $250m/s$ و تندی صوت در هوا $348m/s$ است.

الف) بسامد

$$L=15cm=0/15m\ ,\ v=250\frac{m}{s}$$

$$f_n=\frac{nv}{2L}\Rightarrow f_1=\frac{v}{2L}=\frac{1\times250}{2\times0/15}=833Hz$$

و ب) طول‌موج امواج صوتی گسیل شده از تار چقدر است؟

$$f=833Hz\ ,\ v=348\frac{m}{s}\ ,\ \lambda=?$$

$$\lambda=\frac{v}{f}=\frac{348}{833}=0/4176m=41/76cm$$

(۲۴) اگر بسامد اصلی یک تار ویولن به جرم $800mg$ و طول $22/0cm$ برابر $920Hz$ باشد،

الف) تندی موج عرضی در این تار را به دست آورید.

$$f_1=920Hz\ ,\ L=22cm=0/22m\ ,\ v=?$$

$$f_n=\frac{nv}{2L}\Rightarrow f_1=\frac{v}{2L}\Rightarrow 920=\frac{1\times v}{2\times0/22}\Rightarrow v=404/8\frac{m}{s}$$

ب) کشش تار چقدر است؟

$$L=0/22m\ ,\ m=800mg=8\times10^{-4}kg\ ,\ v=404/8\frac{m}{s}\ ,\ F=?$$

$$v=\sqrt{\frac{F}{\mu}}\Rightarrow F=\mu v^2\xrightarrow{\mu=\frac{m}{L}}F=\frac{mv^2}{L}=\frac{8\times10^{-4}\times(404/8)^2}{0/22}\simeq596N$$

تلاشی درمسیر موفقیت

@physicsjenbour

پ) برای بسامد اصلی، طول‌موج موج عرضی در تار و طول‌موج امواج صوتی گسیل‌شده توسط تار چقدر است؟ تندی صوت در هوا را $340\frac{m}{s}$ بگیرید.

طول‌موج عرضی در تار:

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \Rightarrow \lambda_1 = \frac{2\times 0/32}{1} = 0/44m$$

طول‌موج امواج صوتی گسیلی:

$$\lambda_1' = \frac{v_{هوا}}{f_1} = \frac{340}{920} = 0/37m$$

۲۵ تار ویولنی به طول $30/0cm$ و چگالی خطی جرمی $0/650g/m$ در نزدیکی بلندگویی قرار داده شده است که توسط یک نوسان‌ساز صوتی با بسامد متغیر به کار می‌افتد. معلوم شده است وقتی بسامد نوسان‌ساز در گسترهٔ $500-1500Hz$ تغییر می‌کند تار فقط هنگامی به نوسان در می‌آید که بسامد آن $880Hz$ و $1320Hz$ باشد.

الف) چه پدیده‌ای سبب به نوسان درآمدن تار شده است؟

به ازای بسامدهای معینی از نوسانگر که بسامد تشدیدی نامیده می‌شوند، تداخل امواج تابیده شده و بازتابیده در تار منجر به ایجاد موج ایستاده می‌شود اگر تار در بسامدهایی غیر از بسامدهای تشدیدی نوسان کند موج ایستاده تشکیل نمی‌شود.

ب) بسامد اصلی تار چقدر است؟

بسامدهای $880Hz$ و $1320Hz$ مربوط به دو مد نوسانی متوالی یا دو هماهنگ متوالی از این سیم هستند. بنابراین با استفاده از رابطهٔ بسامدهای تشدیدی تار مرتعش داریم:

$$f_n = \frac{nv}{2L} \Rightarrow f_{n+1} - f_n = \frac{(n+1)v}{2L} - \frac{nv}{2L} = \frac{v}{2L} \Rightarrow 1320 - 880 = \frac{v}{2L} \Rightarrow \frac{v}{2L} = 440Hz$$

بنابراین بسامد اصلی تار ($n = 1$) برابر است با:

$$f_n = n\frac{v}{2L} \xrightarrow{n=1} f_1 = 1\times 440 = 440Hz$$

پ) کشش تار چقدر است؟

$$L = 30cm = 0/3m \;,\; \mu = 0/65\frac{g}{m} = 0/65\times 10^{-3}\frac{kg}{m} \;,\; f_1 = 440Hz \;,\; F = ?$$

$$\left.\begin{matrix} f_1 = \frac{v}{2L} \\ v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \end{matrix}\right\} \Rightarrow f_1 = \frac{\sqrt{\frac{F}{\mu}}}{2L} \Rightarrow F = \mu(2f_1L)^2 = 0/65\times 10^{-3}\times(2\times 440\times 0/3)^2 = 45/3N$$

۲۶ ریسمان‌های A و B، طول و چگالی خطی جرمی یکسانی دارند، ولی ریسمان B تحت کشش بیشتری نسبت به ریسمان A قرار دارد. شکل زیر چهار وضعیت (الف) تا (ت) را نشان می‌دهد که در آنها نقش‌های موج ایستاده در دو ریسمان وجود دارند. در کدام وضعیت‌ها، احتمال دارد که ریسمان‌های A و B در بسامد تشدیدی یکسانی نوسان کنند؟

$$L_A = L_B = L \;,\; \mu_A = \mu_B = \mu \;,\; F_A < F_B$$

ارتباط بین بسامدهای تشدید ریسمان A و B به صورت زیر است:

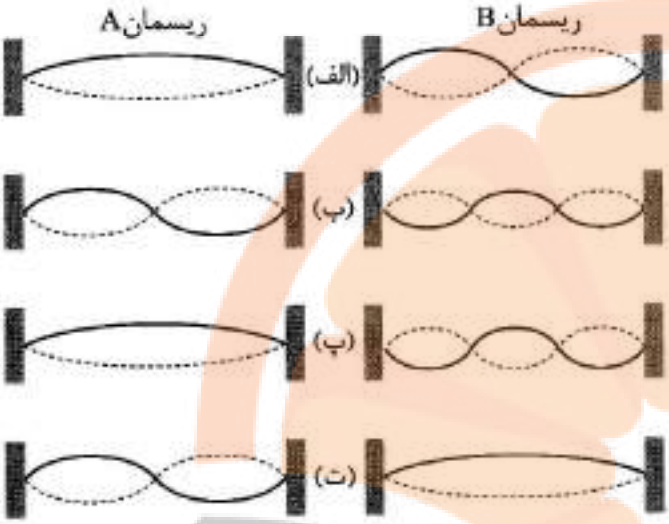
$$\left.\begin{matrix} f_n = \frac{nv}{2L} \\ v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \end{matrix}\right\} \Rightarrow f_n = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{F}{\mu}} \Rightarrow \frac{f_{nA}}{f_{nB}} = \left(\frac{n_A}{n_B}\right)\left(\frac{L_B}{L_A}\right)\sqrt{\left(\frac{F_A}{F_B}\right)\left(\frac{\mu_B}{\mu_A}\right)} \xrightarrow[\mu_A=\mu_B]{L_A=L_B} \frac{f_{nA}}{f_{nB}} = \left(\frac{n_A}{n_B}\right)\sqrt{\frac{F_A}{F_B}}$$

@physicsjafroodi

بنابراین اگر بسامد تشدیدی برای دو ریسمان برابر باشد، داریم:

$$\frac{f_{nA}}{f_{nB}}=1\Rightarrow\frac{n_A}{n_B}=\sqrt{\frac{F_B}{F_A}}\xrightarrow{F_B>F_A}n_A>n_B$$

حال کافی است مشخص کنیم هر کدام از ریسمان‌ها در کدام هماهنگ خود نوسان می‌کنند.



$n_A=1, n_B=2\xrightarrow{n_A<n_B}f_A\neq f_B$

$n_A=2, n_B=3\xrightarrow{n_A<n_B}f_A\neq f_B$

$n_A=1, n_B=3\xrightarrow{n_A<n_B}f_A\neq f_B$

$n_A=2, n_B=1\xrightarrow{n_A>n_B}$ ممکن است $f_A=f_B$ باشد.

(۳۷) در یک تار دو سر بسته، یکی از بسامدهای تشدیدی ۳۲۵Hz و بسامد تشدیدی بعدی ۳۹۰Hz است. بسامد تشدیدی پس از ۱۹۵Hz این تار چیست؟

بسامدهای $f=325Hz, 390=Hz$ مربوط به هماهنگ‌های متوالی هستند بنابراین با توجه به رابطهٔ $f_n=\frac{nv}{2L}$ داریم:

$$\text{اختلاف بسامد دو هماهنگ متوالی}=f_{n+1}-f_n=\frac{(n+1)v}{2L}-\frac{nv}{2L}=\frac{v}{2L}\Rightarrow 390-325=\frac{v}{2L}\Rightarrow\frac{v}{2L}=65Hz$$

حال باید مشخص کنیم بسامد ۱۹۵Hz متعلق به کدام هماهنگ است. $195=\frac{nv}{2L}=65n\Rightarrow n=3$

بنابراین بسامد تشدیدی پس از ۱۹۵Hz (هماهنگ سوم) بسامد هماهنگ چهارم است:

$$f_4=\frac{4v}{2L}=4\times65=260Hz$$

(۳۸) رشته‌ای از بسامدهای تشدیدی یک تار با دو انتهای بسته عبارت‌اند از: ۱۵۰Hz، ۲۲۵Hz، ۳۰۰Hz و ۳۷۵Hz. در این رشته یک بسامد (کمتر از ۴۰۰Hz) جا افتاده است.

الف) این بسامد کدام است؟

طبق رابطهٔ $f_n=\frac{nv}{2L}$ رشتهٔ بسامدهای تشدیدی یک تار با دو انتهای بسته یک تصاعد حسابی (عددی) تشکیل می‌دهند که قدرنسبت آن $\frac{v}{2L}$ است. همان‌طور که در دنبالهٔ بسامدها مشاهده می‌شود تمامی بسامدهای حاضر به اندازهٔ ۷۵Hz با یکدیگر اختلاف دارند که همان قدرنسبت $\frac{v}{2L}$ را نشان می‌دهد.

$$150Hz\xrightarrow{+75Hz}225Hz\xrightarrow{+75Hz}300Hz\xrightarrow{+75Hz}375Hz$$

چون بسامد جا افتاده کمتر از ۴۰۰ است، باید بسامد قبل از ۱۵۰Hz را به دست آوریم که همان هماهنگ اول است.

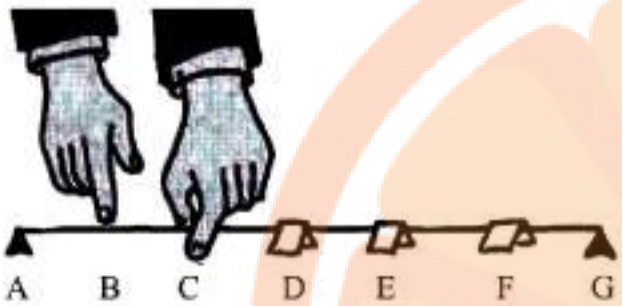
$$f_1=150-75=75Hz$$

ب) بسامد هماهنگ هفتم چقدر است؟

$$f_n=\frac{nv}{2L}=75n\Rightarrow f_7=75\times7=525Hz$$

@physicsjafroodi

۲۹ در شکل نشان داده‌شده، نقاط A، B، C، D، E، F و G در فاصله‌های یکسانی از هم قرار دارند. تار را در نقطهٔ C به آرامی می‌گیریم، طوری که نوسان‌های بخشی از تار که سمت چپ نقطهٔ C است، بتواند به سمت راست این نقطه منتقل شود. اکنون تار را در نقطهٔ B می‌نوازیم. بدین ترتیب موج ایستاده‌ای در طول تار تشکیل می‌شود، به طوری که در نقطه‌های A و C گره و در نقطهٔ B شکم آن قرار دارد. به گمان شما برای کاغذهای تاشده‌ای که در نقاط D، E و F قرار دارند، چه رخ می‌دهد؟



چون در نقطهٔ A گره و در نقطه B شکم ایجاد می‌شود، فاصلهٔ نقاط A ، B و همچنین نقاط B و C برابر با $\frac{\lambda}{۴}$ است. از طرفی با توجه به یکسان بودن فرکانس موج عبوری از هر دو بخش، تار و همچنین نیروی کشش مساوی در این دو بخش، طول‌موج موج عبوری از سمت راست تار با طول‌موج موج تولیدشده در سمت چپ برابر است. به این ترتیب نقش گره و شکم به طور متوالی در طول تار ایجاد می‌شود و در نقطه‌های D و F، شکم و در نقطه‌های E و G، گره ایجاد خواهد شد. بنابراین در نقطه‌های D و F کاغذها پرتاب می‌شوند اما کاغذ در نقطهٔ E ثابت خواهد ماند.

۳۰ وقتی گالن آبی را خالی می‌کنیم، با خالی شدن آب صدای گلوپ گلوپی را می‌شنویم. موقع خالی شدن گالن بسامد این صدا کمتر می‌شود (صدای بَم‌تر) یا بیشتر (صدای زیرتر)؟ چرا؟

وقتی گالن آب را به صورت وارونه نگه می‌داریم، موقع خالی شدن آب داخل آن، حباب‌های هوا درون آب تشکیل می‌شود. وقتی این حباب‌ها در آب داخل گالن بالا می‌روند و به سطح آب می‌رسند می‌ترکند و در اثر ترکیدن آنها گسترهٔ وسیعی از بسامدها ایجاد می‌شود. از طرفی فضای خالی بالای بطری مانند یک لولهٔ صوتی با دو انتهای بسته می‌تواند باعث تشدید صوت‌هایی شود که بسامد آنها با بسامدهای تشدیدی لوله برابر است. می‌دانیم بسامدهای تشدیدی در یک لولهٔ صوتی متناسب با معکوس طول لوله هستند، بنابراین با خالی شدن آب داخل بطری و افزایش طول لولهٔ صوتی تشکیل شده در بالای بطری، با ترکیدن حباب های هوا در داخل بطری صوت‌هایی با بسامد پایین‌تر دچار تشدید شده و صدای گلوپ گلوپ بم‌تر شنیده می‌شوند.

۳۱ در گذشته برای آگاه کردن کشتی‌ها از خطر صخره‌ها، در صدف‌های حلزونی می‌دمیدند. امروزه بیشتر برای جشن‌ها و شادی‌ها در آنها می‌دمند. چگونه این صدف‌ها می‌توانند چنین صدایی ایجاد کنند؟

این صدف‌ها همانند یک لولهٔ صوتی با یک انتهای باز عمل می‌کنند که بسامدهای تشدیدی معینی دارد. در واقع نوعی تشدیدگر هلمهولتز تشکیل می‌دهند. با دمیدن در صدف گسترهٔ وسیعی از بسامدها ایجاد می‌شود. هنگامی که یکی از این بسامدها با بسامدهای تشدیدی صدف برابر باشد تشدید رخ می‌دهد و یک موج صوتی بسیار قوی تولید می‌شود.

@physicsjafroodi

پرسش(۵-۱) ..... صفحهٔ ۱۱۸ کتاب درسی

تابشی با بسامد معین باعث می‌شود تا فوتوالکترون‌هایی سطح فلز۱ را ترک کنند، ولی از سطح فلز۲ خارج نشوند. انرژی فوتون‌های فرودی را با تابع کار فلزها مقایسه کنید. هنگامی که اثر فوتوالکتریک رخ می‌دهد، انرژی جنبشی سریع‌ترین فوتوالکترون‌های تولیدشده طبق معادلهٔ فوتوالکتریک برابر با $K_{max} = hf - W_0$ خواهد بود، بنابراین با توجه به اینکه انرژی جنبشی یک جسم همواره مقدار مثبتی دارد، خواهیم داشت: $k_{max} \geq 0 \Rightarrow hf \geq W_0$

بنابراین تنها هنگامی اثر فوتوالکتریک رخ می‌دهد که انرژی فوتون‌های تابیده‌شده بزرگ‌تر یا مساوی تابع کار فلز باشد در نتیجه اگر W_{01} و W_{02} به ترتیب تابع کار فلزهای ۱ و ۲ و f بسامد نور تابیده‌شده باشند، خواهیم داشت:

$$W_{01} \leq hf < W_{02}$$

تمرین(۵-۱) ..... صفحهٔ ۱۲۰ کتاب درسی

طول‌موج آستانه برای اثر فوتوالکتریک در یک فلز معین برابر ۲۵۴nm است.

الف) تابع کار این فلز برحسب الکترون ولت چقدر است؟ ابتدا بسامد آستانه را با استفاده از رابطهٔ $f = \frac{c}{\lambda}$ به دست می‌آوریم.

$$f_0 = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{3 \times 10^8}{254 \times 10^{-9}} = 1/18 \times 10^{15}\,Hz$$

همچنین برای محاسبهٔ تابع کار فلز داریم:

$$f = \frac{W_0}{h} \Rightarrow W_0 = hf_0 = (4/14 \times 10^{-15}) \times (1/18 \times 10^{15}) = 4/89eV$$

ب) توضیح دهید که آیا اثر فوتوالکتریک به ازای طول‌موج‌های کوچک‌تر، مساوی یا بزرگ‌تر از ۲۵۴nm مشاهده خواهد شد.

برای مشاهدهٔ اثر فوتوالکتریک بسامد موج فرودی باید از بسامد آستانه بیشتر باشد ($f > f_0$). با توجه به رابطهٔ $f = \frac{c}{\lambda}$ خواهیم داشت:

$$\lambda_0 = 254nm$$

$$f > f_0 \Rightarrow \frac{c}{\lambda} > \frac{c}{\lambda_0} \Rightarrow \frac{1}{\lambda} > \frac{1}{\lambda_0} \Rightarrow \lambda < \lambda_0 \Rightarrow \lambda < 254nm$$

بنابراین برای رخ دادن اثر فوتوالکتریک، طول‌موج فرودی باید کمتر از طول‌موج آستانه باشد و برای طول‌موج‌های برابر و یا بزرگ‌تر از طول‌موج آستانه، پدیدهٔ فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد.

تمرین(۵-۲) ..... صفحهٔ ۱۲۰ کتاب درسی

در پدیدهٔ فوتوالکتریکی برای فلز روی،

الف) بلندترین طول‌موجی را پیدا کنید که سبب گسیل فوتوالکترون‌ها می‌شود. می‌دانیم بلندترین طول‌موج که سبب گسیل فوتوالکترون‌ها می‌شود متناظر با کمترین بسامد یعنی بسامد آستانه است؛ به این ترتیب با توجه به جدول ۵-۱ کتاب درسی داریم:

$$f_0 = \frac{W_0}{h} = \frac{4/31}{4/14 \times 10^{-15}} = 1/04 \times 10^{15}\,Hz$$

طول‌موج آستانه از رابطهٔ $f_0 = \frac{c}{\lambda_0}$ به دست می‌آید.

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} = \frac{3 \times 10^8}{1/04 \times 10^{15}} = 288nm$$

@physicsjeffroodi

ب) وقتی نوری با طول‌موج ۲۲۰nm با سطح این فلز برهم‌کنش کند، بیشینهٔ تندی فوتوالکترون‌ها چقدر است؟

برای محاسبهٔ بیشینهٔ تندی فوتوالکترون‌ها ابتدا با استفاده از معادلهٔ فوتوالکتریک بیشینهٔ انرژی جنبشی فوتوالکترون‌های گسیل‌شده را به دست می‌آوریم:

$$\left.\begin{matrix} K_{max} = hf - W_0 \\ f = \frac{c}{\lambda} \end{matrix}\right\} \Rightarrow K_{max} = \frac{hc}{\lambda} - W_0 = \frac{۱/۲۴\times۱۰^{-۳}}{۲۲۰} - ۴/۳۱ = ۱/۳۲eV$$

با تبدیل یکای انرژی به‌دست‌آمده برحسب ژول داریم:

$$K_{max} = (۱/۳۲eV)(\frac{۱/۶۰\times۱۰^{-۱۹}J}{۱eV}) = ۲/۱۱\times۱۰^{-۱۹}J$$

به این ترتیب با استفاده از رابطهٔ $K_{max} = \frac{۱}{۲}m_e v_{max}^۲$ و قرار دادن مقدار جرم الکترون $(m_e = ۹/۱۱\times۱۰^{-۳۱}kg)$ در این رابطه، بیشینهٔ تندی فوتوالکترون‌های خارج‌شده برابر است با:

$$v_{max} = \sqrt{\frac{۲K_{max}}{m_e}} = \sqrt{\frac{۲\times۲/۱۱\times۱۰^{-۱۹}}{۹/۱۱\times۱۰^{-۳۱}}} = ۶/۸\times۱۰^{۵}\frac{m}{s}$$

تمرین(۵-۳) صفحهٔ ۱۲۴ 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 رشته پاشن $n' = ۳$ و اولین و دومین خط طیفی برای این رشته به‌ترتیب متناظر با $n = ۴$ و $n = ۵$ است در این صورت داریم:

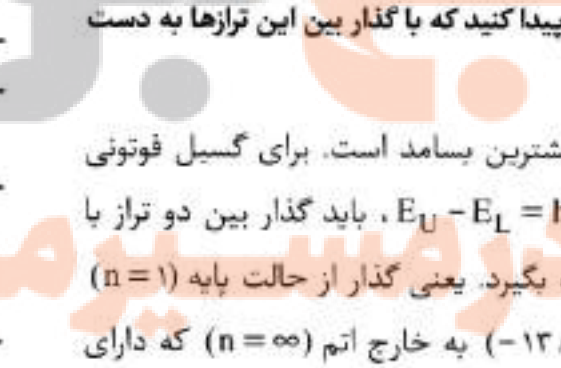
$$\frac{۱}{\lambda} = R(\frac{۱}{۳^۲} - \frac{۱}{n^۲}) \Rightarrow \begin{cases} n = ۴ \Rightarrow \frac{۱}{\lambda} = R(\frac{۱}{۳^۲} - \frac{۱}{۴^۲}) = ۰/۰۱۱\times(۴/۸۶\times۱۰^{-۲}) \Rightarrow \lambda = ۱۸۷۰nm \\ n = ۵ \Rightarrow \frac{۱}{\lambda} = R(\frac{۱}{۳^۲} - \frac{۱}{۵^۲}) = ۰/۰۱۱\times(۷/۱۱\times۱۰^{-۲}) = ۱۲۷۸nm \end{cases}$$

که با توجه به طیف امواج الکترومغناطیسی در فصل ۳، هر دو طول‌موج در ناحیهٔ فروسرخ قرار دارند.

تمرین(۵-۴) صفحهٔ ۱۲۸ 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 $(n = ۱)$ با کمترین سطح انرژی $(-۱۳/۶eV)$ به خارج اتم $(n = \infty)$ که دارای بیشترین سطح انرژی $(۰eV)$ است.

$$E_U - E_L = E_\infty - E_۱ = hf = \frac{hc}{\lambda_{min}} \Rightarrow \lambda_{min} = \frac{hc}{E_\infty - E_۱} = \frac{۱۲۴۰}{۰-(-۱۳/۶)} = ۹۱/۲nm$$

@physicsjeffoodi

ب) اگر الکترون از تراز انرژی $-1/51eV$ به تراز پایه جهش کند طول‌موج فوتون گسیلی را پیدا کنید.

برای گذار از تراز انرژی $1/51eV$ یعنی تراز سوم به تراز پایه (تراز اول) طول‌موج فوتون گسیلی به صورت زیر است:

$$\lambda = \frac{hc}{E_3 - E_1} = \frac{1240}{-1/51 - (-13/6)} = 102nm$$

پ) کدام گذار بین دو تراز می‌تواند به گسیل فوتونی با طول‌موج $660nm$ منجر شود؟ توجه کنید که این طول‌موج‌ها در گسترهٔ مرئی است.

اگر گذار از تراز E_U به E_L رخ می‌دهد، خواهیم داشت:

$$E_U - E_L = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240}{660} = 1/88eV$$

با توجه به شکل این اختلاف انرژی مربوط به گذار بین تراز ۲ (تراز با انرژی $-3/4eV$) و تراز ۳ (تراز با انرژی $-1/51$) است یعنی گذار از اولین حالت برانگیخته به دومین حالت برانگیخته رخ می‌دهد. $E_3 - E_2 = -1/51 - (-3/4) = 1/88eV$

پرسش(۵-۲) ..... **صفحهٔ ۱۳۱ کتاب درسی**

آیا معادلهٔ ۵-۹ 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 ۵-۹ استفاده کرد.

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل(۵) ..... **صفحهٔ ۱۳۴ تا ۱۳۶ کتاب درسی**

(۱) یک لامپ حاوی گاز کم‌فشار سدیم، فوتون‌هایی با طول‌موج $589nm$ گسیل می‌کند.

الف) بسامد و انرژی فوتون‌های گسیلی را حساب کنید. انرژی را برحسب ژول و همچنین الکترون‌ولت بیان کنید.

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3\times10^8}{589\times10^{-9}} = 5/09\times10^{14}Hz$$

$$E = hf = (4/14\times10^{-15})\times(5/09\times10^{14}) = 2/1eV$$

$$E = (2/1eV)\left(\frac{1/60\times10^{-19}J}{1eV}\right) = 3/36\times10^{-19}J$$

ب) فرض کنید توان تابشی مفید لامپ $5/0W$ است. در هر دقیقه چند فوتون از این لامپ گسیل می‌شود؟

ابتدا انرژی تابشی لامپ در هر ثانیه را حساب می‌کنیم.

$$E = Pt = 5\times60 = 300J$$

نسبت این انرژی به انرژی هر فوتون ($3/36\times10^{-19}J$)، تعداد فوتون‌های گسیلی در هر دقیقه است.

$$n = \frac{300}{3/36\times10^{-19}} = 8/92\times10^{20}$$

(۲) توان باریکهٔ نور خروجی یک لیزر گازی هلیم نئون $5/0mW$ است. اگر توان ورودی این لیزر $50/0W$ باشد،

الف) بازده لیزر را حساب کنید.

بازده برابر با نسبت توان خروجی به توان ورودی لیزر است.

$$Ra = \frac{P_{خروجی}}{P_{ورودی}} = \frac{5\times10^{-3}}{50} = 1\times10^{-4}$$

@physicsjeroodi

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:

$$n = \frac{E_{eye}}{E} = \frac{۷/۸۱\times۱۰^{۴}}{۲/۲۵} = ۳/۴۷\times۱۰^{۴}$$

تلاشی در مسیر موفقیت

@physicsjafroodi

(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.

پ) معادلهٔ مربوط به اثر فوتوالکتریک به صورت $K_{max} = hf - W_۰$ بیان می‌شود. سه بخش این معادله را به طور جداگانه توضیح دهید.

با جذب یک فوتون توسط یک الکترون انرژی فوتون به الکترون منتقل می‌شود. اگر این انرژی برای جدا کردن الکترون از فلز کافی باشد، بخشی از آن صرف جدا کردن الکترون از فلز می‌شود و مابقی آن انرژی جنبشی الکترون را افزایش می‌دهد. بنابراین هر چه انرژی موردنیاز برای جدا کردن الکترون از فلز کمتر باشد، انرژی جنبشی الکترون خارج‌شده بیشتر خواهد بود. با توجه به اینکه میزان مقید بودن الکترون‌ها در فلز متفاوت است بنابراین انرژی موردنیاز برای جدا کردن آنها از

@physicsjelfoodi

فلز و در نتیجه انرژی جنبشی آنها بعد از جدا شدن از فلز در اثر دریافت مقدار معینی انرژی متفاوت است. در معادلهٔ فوتوالکتریک، W_0 که تابع کار فلز نامیده می‌شود حداقل انرژی موردنیاز برای جداکردن الکترون‌هایی را مشخص می‌کند که کمتر از هر الکترون دیگری در فلز به فلز مقیدند، بنابراین با جذب انرژی فوتون(hf) و جدا شدن از فلز، بیشترین انرژی جنبشی را خواهند داشت. (K_{max})

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 ($K_{max} = hf - W_0$ یا $K_{max} = hf - hf_0$)، اگر آزمایش با بسامدی برابر با بسامد آستانه انجام شود ($f = f_0$) الکترون بدون هیچ انرژی جنبشی‌ای در آستانهٔ ترک فلز قرار دارد. اگر بسامد نور فرودی را از بسامد آستانه کمتر کنیم ($f < f_0$)، به دلیل اینکه انرژی فوتون فرودی از تابع کار فلز کمتر شده ($hf < W_0$)، انرژی لازم برای جدا کردن الکترون‌ها فراهم نمی‌شود و اثر فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد. اما اگر بسامد نور فرودی را از بسامد آستانه بیشتر کنیم ($f > f_0$)، فوتون‌ها قادر به کندن الکترون‌ها خواهند بود و انرژی جنبشی بیشینهٔ الکترون‌ها غیرصفر خواهد بود ($K_{max} \neq 0$) و هر چه بسامد فرودی بیشتر باشد انرژی فوتوالکترون‌ها نیز بیشتر می‌شود.

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 حداقل انرژی لازم برای جدا کردن یک الکترون از سطح فلز سدیم برابر ۲/۲۸eV است.

الف) طول‌موج آستانه برای گسیل فوتوالکترون از سطح فلز سدیم چقدر است و با مراجعه به شکل ۵-۶ معلوم کنید این طول‌موج مربوط به چه رنگی است؟

$W_0 = ۲/۲۸eV \ ، \ \lambda_0 = ?$

طول‌موج آستانه متناظر با بسامد آستانه است که از رابطهٔ $f_0 = \frac{W_0}{h}$ به دست می‌آید:

$$f_0 = \frac{W_0}{h} \Rightarrow \frac{c}{\lambda_0} = \frac{W_0}{h} \Rightarrow \lambda_0 = \frac{hc}{W_0} = \frac{۱۲۴۰}{۲/۲۸} = ۵۴۴\,nm$$ (نور سبز)

ب) آیا فوتون‌هایی با طول‌موج ۶۸۰nm قادر به جدا کردن الکترون از سطح این فلز هستند؟

انرژی فوتون‌هایی با طول‌موج ۶۸۰nm برابر است با:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{۱۲۴۰}{۶۸۰} = ۱/۸۲eV < ۲/۲۸eV$$

با توجه به اینکه $E < W_0$ است، فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد.

@physicsjafroodi

(۸) تابش فرابنفشی با طول‌موج ۲۰۰nm بر سطح تیغه‌ای از جنس نیکل با تابع کار ۴/۹۰eV تابیده می‌شود. بیشینهٔ تندی فوتوالکترون‌های جداشده از سطح نیکل را حساب کنید.

$\lambda = ۲۰۰nm \ ، \ W_۰ = ۴/۹eV \ ، \ K_{max} = ?$

ابتدا بیشینهٔ انرژی جنبشی فوتوالکترون‌های جداشده را محاسبه می‌کنیم.

$$K_{max} = hf - W_۰ = \frac{hc}{\lambda} - W_۰ = \frac{۱۲۴۰}{۲۰۰} - ۴/۹ = ۱/۳eV$$

$$K_{max} = (۱/۳eV)(\frac{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}J}{۱eV}) = ۲/۰۸\times۱۰^{-۱۹}J$$

با استفاده از رابطهٔ $K_{max} = \frac{۱}{۲}m_e v_{max}^۲$ می‌توان بیشینهٔ تندی را به صورت زیر محاسبه نمود:

$$v_{max} = \sqrt{\frac{۲K_{max}}{m}} = \sqrt{\frac{۲\times۲/۰۸\times۱۰^{-۱۹}}{۹/۱۱\times۱۰^{-۳۱}}} = ۶/۷۵\times۱۰^{۵}\frac{m}{s}$$

(۹) هرگاه بر سطح فلزی نوری با طول‌موج ۴۲۰nm بتابد بیشینهٔ انرژی جنبشی فوتوالکترون‌های گسیل شده حدود ۰/۵۰eV است. بسامد آستانه برای گسیل فوتوالکترون‌ها از سطح این فلز چقدر است؟

$\lambda = ۴۲۰nm \ ، \ K_{max} = ۰/۵eV \ ، \ f_۰ = ?$

ابتدا با استفاده از معادلهٔ فوتوالکتریک، تابع کار فلز را به دست می‌آوریم.

$$K_{max} = hf - W_۰ \Rightarrow K_{max} = \frac{hc}{\lambda} - W_۰ \Rightarrow W_۰ = \frac{hc}{\lambda} - K_{max} = (\frac{۱۲۴۰}{۴۲۰}) - ۰/۵ = ۲/۴۵eV$$

$$f_۰ = \frac{W_۰}{h} = \frac{۲/۴۵}{۴/۱۴\times۱۰^{-۱۵}} = ۵/۹۲\times۱۰^{۱۴}Hz$$

(۱۰) 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.

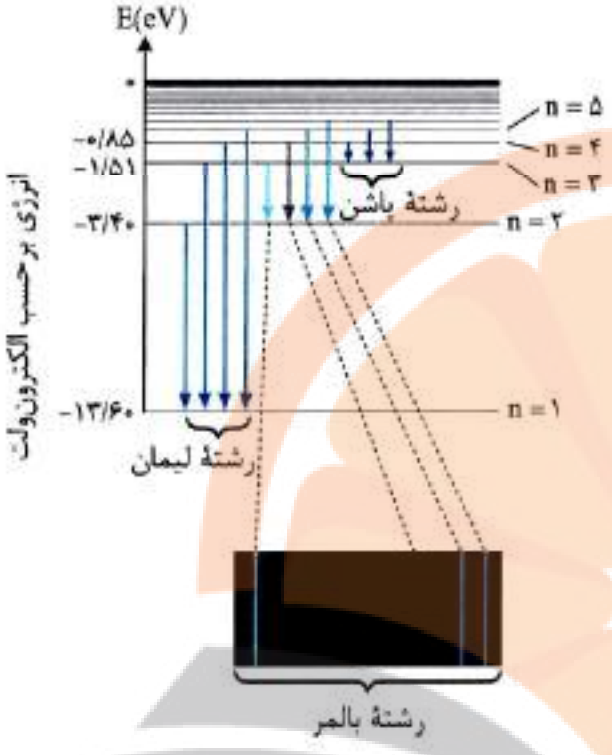
ب) توضیح دهید چگونه می‌توان طیف‌های گسیلی پیوسته و خطی را ایجاد کرد.

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.

@physicsjeirudi

(۱۱) شکل صفحهٔ بعد 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 $n=۱$ و انرژی $-۱۳/۶۰eV$ چیست؟

$n=۱$ 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 $-۱۳/۶eV$ است و نشان می‌دهد اگر بخواهیم الکترون را از حالت پایه به بالاترین حالت برانگیختهٔ ممکن ببریم (الکترون را از اتم جدا کنیم) باید $۱۳/۶eV$ انرژی مصرف کنیم.

ب) بر اساس 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 $n=۲$ و $n=\infty$ است.

بنابراین با استفاده از شکل 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.

@physicsjafroodi

(۱۲) 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.

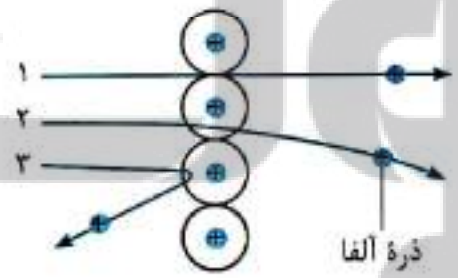
ب) با استفاده از مدل بور، چگونه می‌توانید خط‌های تاریک در طیف جذبی گاز هیدروژن اتمی را توجیه کنید؟

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.

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 ($\Delta E = hf_0$) 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_0 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.

(۱۳) مبنای مدل رادرفورد، نتایج آزمایش‌هایی بود که از پراکندگی ذره‌های آلفا توسط یک ورقهٔ نازک طلا به دست آمده بود (شکل الف).



(الف)

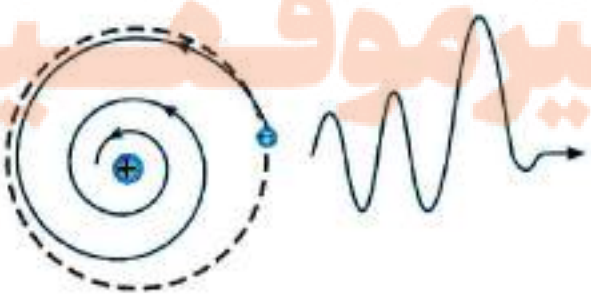
الف) توضیح دهید چرا بیشتر ذره‌های آلفا مانند ذره‌های ۱ و ۲ یا اصلاً منحرف نمی‌شوند یا به مقدار کمی منحرف می‌شوند.

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؟

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.



(ب)

@physicsjelfoodi

پ) چرا رادرفورد در آزمایش خود از صفحه 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.

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.

۱۴ 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.

$$E_n = \frac{-۱۳/۶}{n^۲} \Rightarrow \Delta E(n_U \to n_L) = E_U - E_L = \frac{-۱۳/۶}{n_U^۲} - \frac{-۱۳/۶}{n_L^۲} = -۱۳/۶\left(\frac{۱}{n_U^۲} - \frac{۱}{n_L^۲}\right)$$

ب) نشان دهید که: $\Delta E(۴ \to ۲) = \Delta E(۴ \to ۳) + \Delta E(۳ \to ۲)$

$$E_۲ = \frac{-۱۳/۶}{۲^۲} = -۳/۴eV \qquad E_۳ = \frac{-۱۳/۶}{۳^۲} = -۱/۵۱eV \qquad E_۴ = \frac{-۱۳/۶}{۴^۲} = -۰/۸۵eV$$

$$\Delta E(۴ \to ۲) = E_۴ - E_۲ = -۰/۸۵ - (-۳/۴) = ۲/۵۵eV \quad (۱)$$

$$\left.\begin{aligned}\Delta E(۴ \to ۳) &= E_۴ - E_۳ = -۰/۸۵ - (-۱/۵۱) = ۰/۶۶eV \\ \Delta E(۳ \to ۲) &= E_۳ - E_۲ = -۱/۵۱ - (-۳/۴) = ۱/۸۹eV\end{aligned}\right\} \Rightarrow \Delta E(۴ \to ۳) + \Delta E(۳ \to ۲) = ۲/۵۵eV \quad (۲)$$

$$\xrightarrow{(۱)\,,\,(۲)} \Delta E(۴ \to ۲) = \Delta E(۴ \to ۳) + \Delta E(۳ \to ۲)$$

تلاشی در مسیر موفقیت

@physicsjelroodi

$$\Delta E(۴\to ۱)=\Delta E(۴\to ۲)+\Delta E(۲\to ۱)$$

$$E_۱=\frac{-۱۳/۶}{۱^۲}=-۱۳/۶eV \qquad E_۲=-۳/۴eV \qquad E_۴=-۰/۸۵eV$$

$$\Delta E(۴\to ۱)=E_۴-E_۱=-۰/۸۵-(-۱۳/۶)=۱۲/۷۵eV \quad (۳)$$

$$\left.\begin{array}{l}\Delta E(۴\to ۲)=۲/۵۵eV\\ \Delta E(۲\to ۱)=E_۲-E_۱=-۳/۴-(-۱۳/۶)=۱۰/۲eV\end{array}\right\}\Rightarrow \Delta E(۴\to ۲)+\Delta E(۲\to ۱)=۱۲/۷۵eV \quad (۴)$$

$$\xrightarrow{(۳)\,.\,(۴)}\Delta E(۴\to ۱)=\Delta E(۴\to ۲)+\Delta E(۲\to ۱)$$

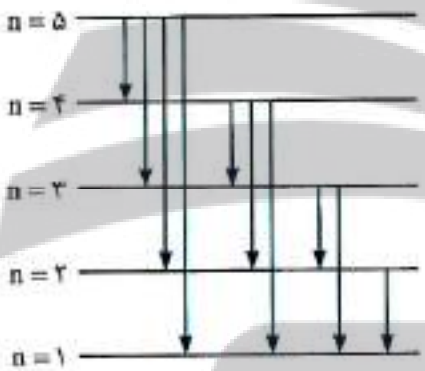
روش دوم:

$$\Delta E(۴\to ۳)+\Delta E(۳\to ۲)=(E_۴-E_۳)+(E_۳-E_۲)=E_۴-E_۳+E_۳-E_۲=E_۴-E_۲=\Delta E(۴\to ۲)$$

$$\Delta E(۴\to ۲)+\Delta E(۲\to ۱)=(E_۴-E_۲)+(E_۲-E_۱)=E_۴-E_۲+E_۲-E_۱=E_۴-E_۱=\Delta E(۴\to ۱)$$

۱۵ 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؟

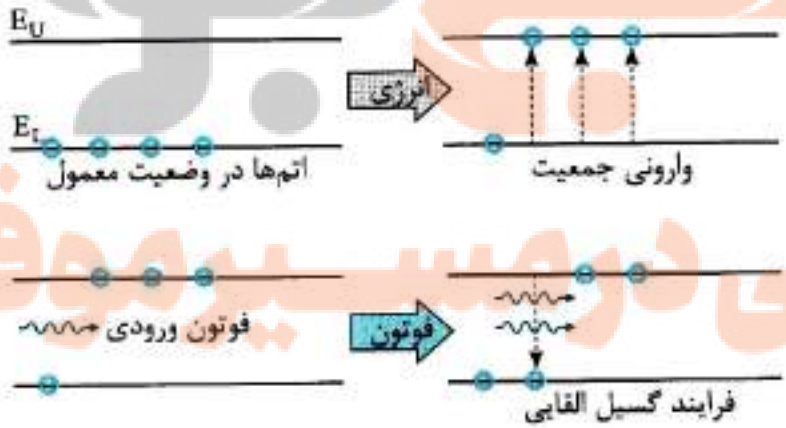


در شکل مقابل احتمال گذار الکترون از تراز $n=۵$ به ترازهای دیگر با پیکان نمایش داده شده است. تعداد حالت‌های ممکن برای انرژی فوتون‌های گسیل‌شده برابر با تعداد پیکان‌هاست. یعنی ۱۰ نوع فوتون با انرژی مختلف وجود دارد.

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.

۱۶ 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.

@physicsjelroodi

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.

۱۷ 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 هر جهتی 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.

@physicsjafroodi

تمرین(۶-۱) ..... صفحهٔ ۱۳۹ 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. ${}^{A}_{Z}F_{N} = {}^{۱۹}_{۱۰}F_{۹}$

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(۶-۱) ..... صفحهٔ ۱۴۱ کتاب درسی

هر نقطهٔ آبی‌رنگ در نمودار شکل ۶-۳ 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.

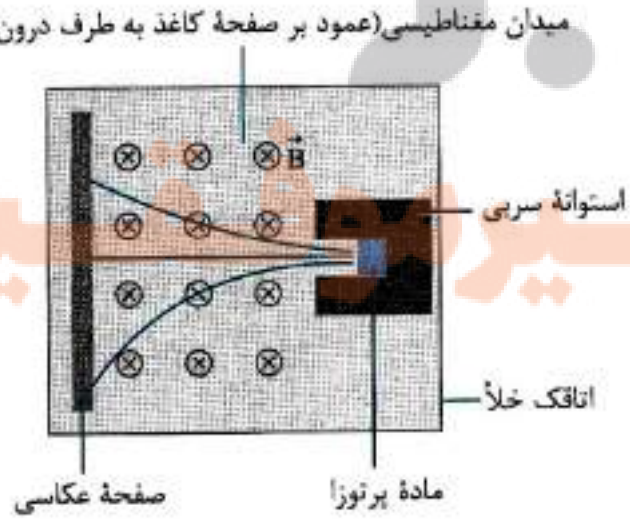
برای عناصر با عدد اتمی کوچک، نسبت $\frac{N}{Z}$ برای هسته‌های پایدار تقریباً برابر با ۱ است. با افزایش عدد اتمی برای پایدار بودن هسته تعداد نوترون‌ها باید بیشتر از تعداد پروتون‌ها باشد، بنابراین نسبت $\frac{N}{Z}$ برای هسته‌های پایدار با عدد اتمی بزرگ، کوچک‌تر از ۱ است؛ در نتیجه نسبت $\frac{N}{Z}$ همواره 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 $Z_{\circ}$ قطع می‌کند، ایزوتوپ‌های مختلف عنصری با عدد اتمی $Z_{\circ}$ را نشان می‌دهند.

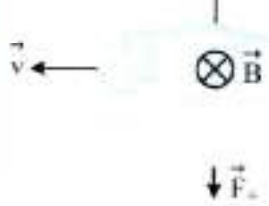
پرسش(۶-۲) ..... صفحهٔ ۱۴۲ کتاب درسی

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.



@physicsjeroodi

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 چپ بوده و میدان مغناطیسی ($\vec{B}$) درون‌سو است، با قرار دادن چهار انگشت دست راست به طرف چپ ($\vec{v}$) به طوری که جهت خم شدن انگشتان جهت میدان ($\vec{B}$) را نشان دهد، انگشت شست جهت نیروی وارد بر بار مثبت ($\vec{F}_+$) را مشخص می‌کند. بنابراین پرتویی که به طرف پایین منحرف شده بار مثبت دارد جهت نیروی وارد بر بار منفی ($\vec{F}_-$) برخلاف جهت بار مثبت است، بنابراین پرتوی منحرف‌شده به طرف بالا بار منفی دارد و پرتویی که اصلاً انحراف پیدا نکرده بدون بار است.



تمرین(۶-۲) صفحهٔ ۱۴۴ 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.

$$^{A}_{Z}X \Rightarrow {}^{a}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e^{-} \Rightarrow {}^{176}_{71}Lu \Rightarrow {}^{176}_{72}Y + {}^{0}_{-1}e^{-}$$

$Z = 72$ متعلق به عنصر هافنیم است.

تمرین(۶-۳) صفحهٔ ۱۴۵ 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.

$$^{A}_{Z}X = {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{1}e^{+} \Rightarrow {}^{15}_{8}O = {}^{15}_{7}Y + {}^{0}_{1}e^{+}$$

$Z = 7$ متعلق به عنصر نیتروژن است.

تمرین(۶-۴) صفحهٔ ۱۴۷ کتاب درسی

پس از گذشت ۹ روز، تعداد هسته‌های پرتوزای یک نمونه، به $\frac{1}{8}$ تعداد موجود در آغاز کاهش یافته است. نیمه‌عمر (برحسب روز) ماده چقدر است؟

$$N = \frac{1}{8}N_0 \ , \ t = 9 \text{ روز} \ , \ T_{\frac{1}{2}} = ?$$

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

$$n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} \Rightarrow 3 = \frac{9}{T_{\frac{1}{2}}} \Rightarrow T_{\frac{1}{2}} = 3 \text{ روز}$$

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل(۶) صفحهٔ ۱۵۵ و ۱۵۶ کتاب درسی

۱ 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.)

$$r_N = 10^{-15} \text{ m} \ , \ r_B = 3/2 \text{ cm} = 3/2 \times 10^{-2} \ , \ m_N = 10^{-27} \text{ kg} \ , \ n = ? \ , \ M = ?$$

ابتدا مرتبهٔ بزرگی حجم هر نوترون و توپ تنیس را تخمین می‌زنیم:

حجم نوترون: $V_N = \frac{4}{3}\pi(r_N)^3 = \frac{4}{3} \times 3/14 \times (10^{-15})^3 = 4/19 \times 10^{-45} = 10^{-45} \text{ m}^3$

حجم توپ تنیس: $V_B = \frac{4}{3}\pi(r_B)^3 = \frac{4}{3} \times 3/14 \times (3/2 \times 10^{-2})^3 = 1/37 \times 10^{-4} = 10^{-4} \text{ m}^3$

@physicsjfroodi

تعداد نوترون‌هایی که می‌توان در توپ جای داد از نسبت حجم توپ به حجم هر نوترون به دست می‌آید. بنابراین:

$$n = \frac{V_B}{V_N} = \frac{۱۰^{-۴}}{۱۰^{-۴۵}} = ۱۰^{۴۰}$$

مرتبهٔ بزرگی جرم توپ برابر جرم تمام نوترون‌های موجود در آن است.

$$M = n \times m_N = ۱۰^{۴۱} \times ۱۰^{-۲۷} = ۱۰^{۱۴}\,kg$$

(۲) 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.

$$A = Z + N = ۲۰۸$$

ب) تعداد نوترون‌ها

تعداد نوترون‌ها را می‌توان از اختلاف عدد جرمی و عدد اتمی به دست آورد.

$$N = A - Z = ۲۰۸ - ۸۲ = ۱۲۶$$

پ) بار الکتریکی خالص هسته

بار خالص هسته برابر است با حاصل‌ضرب تعداد پروتون‌های هسته در بار الکتریکی پروتون:

$$q = Ze = ۸۲ \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} = ۱۳۱/۲ \times ۱۰^{-۱۹}\,C$$

(۳) 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) $^{۱۹۵}_{۷۸}X$

$$^{۱۹۵}_{۷۸}X \equiv {}^{۱۹۵}_{۷۸}Pt \;,\; N = A - Z = ۱۹۵ - ۷۸ = ۱۱۷$$

ب) $^{۳۲}_{۱۶}X$

$$^{۳۲}_{۱۶}X \equiv {}^{۳۲}_{۱۶}S \;,\; N = A - Z = ۳۲ - ۱۶ = ۱۶$$

پ) $^{۶۱}_{۲۹}X$

$$^{۶۱}_{۲۹}X \equiv {}^{۶۱}_{۲۹}Cu \;,\; N = A - Z = ۶۱ - ۲۹ = ۳۲$$

(۴) 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 یکسانی دارند و تنها در تعداد نوترون‌ها و یا عدد جرمی تفاوت دارند. با توجه به اینکه خواص شیمیایی هسته را عدد اتمی یا تعداد پروتون‌های آن مشخص می‌کند، ایزوتوپ‌ها خواص شیمیایی یکسانی دارند و با روش‌های شیمیایی قابل تفکیک نیستند. اما دو عنصر $^{۶۱}_{۲۵}X$ و $^{۶۱}_{۲۶}Y$ عدد اتمی متفاوت دارند، بنابراین مرتبط با دو عنصر شیمیایی مختلف هستند ($_{۲۵}Mn$, $_{۲۶}Fe$) و با روش‌های شیمیایی می‌توان آنها را جدا کرد.

تلاشی در مسیر موفقیت

@physicsjeldoor

۵ جاهای خالی در فرایندهای واپاشی زیر نشان‌دهندهٔ یک یا چند ذرهٔ α ، β^+ یا β^- است. در هر واکنش، جای خالی را کامل کنید.

$^{211}_{82}Pb \rightarrow ^{211}_{83}Bi + {}^{0}_{-1}e^{-}$ یا β^-

$^{11}_{6}C \rightarrow ^{11}_{5}B + {}^{0}_{+1}e^{+}$ یا β^+

$^{231}_{90}Th^{*} \rightarrow ^{231}_{90}Th + \gamma$

$^{18}_{9}F \rightarrow ^{18}_{8}O + {}^{0}_{+1}e^{+}$ یا β^+

۶ هستهٔ دختر به‌دست‌آمده از هر یک از واپاشی‌های زیر را به صورت $^{A}_{Z}X$ مشخص کنید.

الف) $^{242}_{94}Pu$ واپاشی α انجام دهد. $^{242}_{94}Pu \rightarrow ^{238}_{92}U + ^{4}_{2}He$

ب) سدیم $^{24}_{11}Na$ واپاشی β^- انجام دهد. $^{24}_{11}Na \rightarrow ^{24}_{12}C + {}^{0}_{-1}e^{-}$

پ) نیتروژن $^{13}_{7}N$ واپاشی β^- انجام دهد. $^{13}_{7}N \rightarrow ^{13}_{8}O + {}^{0}_{-1}e^{-}$

ت) $^{15}_{8}O$ واپاشی β^+ انجام دهد. $^{15}_{8}O \rightarrow ^{15}_{7}N + {}^{0}_{+1}e^{+}$

۷ سرب $^{207}_{82}Pb$ 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.

$^{A}_{Z}X \rightarrow ^{207}_{82}Pb + ^{4}_{2}He$ $\quad A = 207 + 4 = 211$ $\quad Z = 82 + 2 = 84$ $\quad ^{A}_{Z}X \equiv ^{211}_{84}Po$

$^{A}_{Z}X \rightarrow ^{207}_{82}Pb + {}^{0}_{-1}e^{-}$ $\quad A = 207 + 0 = 207$ $\quad Z = 82 - 1 = 81$ $\quad ^{A}_{Z}X \equiv ^{207}_{81}Tl$

۸ نپتونیم $^{237}_{93}Np$ 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 $^{237}_{93}Np \rightarrow X + 3\alpha + \beta$ است و در واپاشی بتا ذرهٔ گسیل‌شده می‌تواند الکترون یا پوزیترون باشد، بنابراین ۲ حالت مختلف خواهیم داشت:

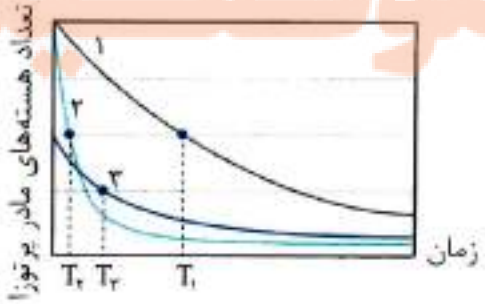
حالت اول: واپاشی α ، β^- ، α و α

$$^{237}_{93}Np \rightarrow ^{A}_{Z}X + 3(^{4}_{2}He) + {}^{0}_{-1}e^{-} \Rightarrow \begin{cases} 237 = A + (3\times 4) + 0 \Rightarrow A = 225 \\ 93 = Z + (3\times 2) - 1 \Rightarrow Z = 88 \end{cases}$$

حالت دوم: واپاشی α ، β^+ ، α و α

$$^{237}_{93}Np \rightarrow ^{A}_{Z}X + 3(^{4}_{2}He) + {}^{0}_{+1}e^{+} \Rightarrow \begin{cases} 237 = A + (3\times 4) + 0 \Rightarrow A = 225 \\ 93 = Z + (3\times 2) + 1 \Rightarrow Z = 86 \end{cases}$$

۹ شکل زیر نمودار تغییرات تعداد هسته‌های مادر پرتوزای سه نمونه را برحسب زمان نشان می‌دهد. نیمه‌عمر این سه نمونه را با هم مقایسه کنید.



با توجه به نمودار، زمانی را که تعداد هسته‌های مادر پرتوزای هر نمونه، نصف مقدار اولیه می‌شود پیدا می‌کنیم، بنابراین خواهیم داشت:

$T_2 < T_3 < T_1$

@physicsjafroodi

(۱۰) 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.

$$n = \frac{t}{T_{\frac{۱}{۲}}} \Rightarrow t = nT_{\frac{۱}{۲}} = ۶ \times ۵۷۳۰ = ۳۴۳۸۰ \text{ سال}$$

(۱۱) نیمه‌عمر بیسموت ۲۱۲ حدود ۶۰ دقیقه است. پس از گذشت چهار ساعت، چه کسری از مادهٔ اولیه، در نمونه‌ای از این بیسموت، باقی می‌ماند؟

$$T_{\frac{۱}{۲}} = ۶۰\text{min} = ۱\text{h} \quad , \quad t = ۴\text{h}$$

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.

(۱۲) معادلهٔ زیر بخشی از واکنشی را نشان می‌دهد که در یک راکتور هسته‌ای روی می‌دهد.

$$^{۲۳۵}_{۹۲}U + ^{۱}_{۰}n \rightarrow ^{۲۳۶}_{۹۲}U$$

الف) اهمیت عددهای ۲۳۵ و ۹۲ را توضیح دهید. نیمه‌عمر اورانیوم بسیار طولانی است و واپاشی آن به کندی انجام می‌شود اما از آنجایی که هستهٔ این ماده سنگین است توازن بین نیروی هسته‌ای قوی بین ۲۳۵ نوکلئون و نیروی دافعهٔ الکتریکی بین ۹۲ پروتون شکننده است. هستهٔ اورانیوم ۲۳۵ تمایل زیادی به جذب نوترون دارد. وقتی یک نوترون کند به آن برخورد می‌کند جذب هسته می‌شود و با افزایش انرژی باعث نوسان هسته می‌شود. هنگام انبساط هسته نیروی دافعهٔ الکتریکی بین پروتون‌ها بر نیروی هسته‌ای قوی غلبه کرده و باعث شکافت هسته‌ای و آزاد شدن

@physicsjafroodi

ب) اتم‌های $^{235}_{92}U$ ناپایدارند و خودبه‌خود به قطعه‌هایی کوچک‌تر همراه با تعدادی نوترون سریع (بین ۲ تا ۵ عدد) و مقدار زیادی انرژی واپاشیده می‌شود. این فرایند چه نام دارد و انرژی آزادشده در این فرایند چگونه تعیین می‌شود؟

این واکنش شکافت هسته‌ای نام دارد. در واکنش‌های شکافت هسته‌ای، جرم محصولات شکافت کمتر از جرم هستهٔ مرکب است. این اختلاف جرم (Δm) بنا به رابطهٔ $E = mc^2$ سبب آزاد شدن انرژی گرمایی زیادی می‌شود. بنابراین مقدار انرژی آزادشده برابر است با: $E = (\Delta m)c^2$.

پ) اورانیم ۲۳۵ عمدتاً نوترون‌های با تندی کم را جذب می‌کند تا نوترون‌های سریع را. توضیح دهید چگونه تندی نوترون‌ها را در قلب راکتور کم می‌کنند.

برای کاهش سرعت نوترون‌ها از مواد کندساز مانند آب معمولی، (H_2O) آب‌سنگین (D_2O) یا گرافیت (اتم‌های کربن) استفاده می‌شود زیرا هستهٔ موادی مانند کربن سبک است و وقتی نوترون به یک هستهٔ کوچک برخورد می‌کند بخش قابل ملاحظه‌ای از انرژی جنبشی خود را به آن منتقل کرده و با سرعت و انرژی بسیار کمتری باز می‌گردد.

ت) چگونه تولید انرژی را در قلب راکتور کنترل می‌کنند؟

برای کنترل انرژی آزادشده در راکتور باید سرعت فرایند شکافت را با استفاده از میله‌های کنترل کاهش داد. میله‌های کنترل، میله‌هایی از جنس مواد جاذب نوترون مثل کادمیم یا بور هستند که در قلب راکتور فرو برده می‌شوند و با کنترل تعداد نوترون‌های آزاد شده آهنگ انجام فرایند را می‌کاهند تا از انفجار یا ذوب شدن راکتور بر اثر انرژی بسیار زیاد آزادشده جلوگیری شود.

ث) واکنش زنجیری را توضیح دهید.

فرآیند شکافت اورانیوم با جذب یک نوترون کند آغاز می‌شود. پس از شکافت اورانیوم تعدادی نوترون (۳ یا ۵) آزاد می‌شود چون نوترون‌ها بار الکتریکی ندارند توسط هسته‌های دیگر دفع نمی‌شوند. این نوترون‌ها پس از کند شدن توسط هسته‌های دیگر جذب شده و واکنش‌های شکافت دیگری را شکل می‌دهند که در هر کدام از آنها نیز تعدادی نوترون به‌وجود می‌آید. با ادامهٔ این روند واکنش زنجیری انجام می‌شود.

ج) انرژی به صورت گرما در قلب راکتور تولید می‌شود. چگونه گرما از قلب راکتور گرفته و به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود؟

گرمای تولیدشده توسط جریانی از آب با فشار بالا جذب می‌شود و آب بدون جوشیدن به دمای بالایی می‌رسد. سپس جریان آب از راکتور خارج شده و به سامانهٔ دیگری که شامل آب کم‌فشار است منتقل می‌شود و آن را گرم می‌کند از این گرما برای تولید بخار استفاده می‌شود و بخار حاصل توربین را به کار می‌اندازد که باعث راه اندازی مولد الکتریسیته می‌شود.

چ) هنگامی که میله‌های سوخت از مرکز راکتور بیرون کشیده می‌شوند، آنها «پرتوزا» و «ایزوتوپ»هایی با «نیمه‌عمر» طولانی هستند. واژه‌های داخل گیومه را توضیح دهید.

به عناصری که با گسیل خودبه‌خودی پرتو از هسته، به عناصر دیگری تبدیل می‌شوند، پرتوزا می‌گوییم.

هسته‌هایی که عدد اتمی یکسان و عدد جرمی متفاوتی دارند ایزوتوپ نامیده می‌شوند.

مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا تعداد هسته‌های مادر موجود در یک نمونه به نصف برسد، نیمه‌عمر نام دارد.

@physicsjeffoodi

۱۳) الف) حدود ۰/۷ درصد اورانیوم موجود در سنگ معدن طبیعی اورانیم از ایزوتوپ ۲۳۵ تشکیل شده است. در هر واکنش شکافت حدود ۲۰۰MeV انرژی آزاد می‌شود. فرض کنید تمامی ایزوتوپ ۲۳۵ موجود در یک کیلوگرم از این اورانیم بتواند بر اثر شکافت، انرژی خود را آزاد کند. مقدار این انرژی برحسب مگاالکترون ولت (MeV) و ژول (J) چقدر است؟

جرم اورانیوم ۲۳۵ موجود در ۱kg اورانیوم: $m = \%۰/۷ \times ۱ = ۷g$

تعداد مول‌های اورانیوم: $n = \frac{m}{M} = \frac{۷}{۲۳۵}$

تعداد اتم‌های اورانیوم: $N = nN_A = \frac{۷}{۲۳۵} \times ۶/۰۲ \times ۱۰^{۲۳} = ۱/۷۹ \times ۱۰^{۲۲}$

انرژی که از شکافت این تعداد هسته آزاد می‌شود برابر حاصل‌ضرب تعداد هسته‌ها در انرژی هر واکنش است بنابراین:

$$E = ۱/۷۹ \times ۱۰^{۲۲} \times ۲۰۰ = ۳۵۸ \times ۱۰^{۲۲} MeV$$

میزان این انرژی بر حسب ژول برابر است با: $E = ۳۵۸ \times ۱۰^{۲۲} \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} = ۵۷۲/۸ \times ۱۰^{۳} MJ = ۵/۷۲۸ \times ۱۰^{۱۱} J$

ب) با سوختن هر کیلوگرم زغال‌سنگ، حدود ۳۰MJ انرژی گرمایی آزاد می‌شود. چند کیلوگرم زغال‌سنگ باید بسوزد تا معادل انرژی به‌دست‌آمده در قسمت الف، انرژی تولید شود؟

کافی است انرژی به‌دست‌آمده را بر انرژی حاصل از سوختن هر کیلوگرم زغال‌سنگ به دست آوریم.

$$m_{\text{زغال‌سنگ}} = \frac{۵۷۲/۸ \times ۱۰^{۳}}{۳۰} = ۱۹ \times ۱۰^{۳} kg$$

۱۴) یکی از واکنش‌های ممکن در شکافت $^{۲۳۵}_{۹۲}U$ ، داده شده است. در این واکنش عدد اتمی Z، عدد جرمی A و عنصر X را در $^{A}_{Z}X$ تعیین کنید. در صورت لزوم از جدول تناوبی کمک بگیرید.

$$^{۱}_{۰}n + {}^{۲۳۵}_{۹۲}U \rightarrow {}^{۱۳۳}_{۵۱}Sb + {}^{A}_{Z}X + ۴\,{}^{۱}_{۰}n$$

$$\left.\begin{array}{l} ۱ + ۲۳۵ = ۱۳۳ + A + (۴ \times ۱) \Rightarrow A = ۹۹ \\ ۰ + ۹۲ = ۵۱ + Z + ۰ \Rightarrow Z = ۴۱ \end{array}\right\} \Rightarrow {}^{۹۹}_{۴۱}X \equiv {}^{۹۹}_{۴۱}Nb$$

۱۵) در واکنش زیر چه تعداد نوترون تولید می‌شود؟

$$^{۱}_{۰}n + {}^{۲۳۵}_{۹۲}U \rightarrow {}^{۱۳۳}_{۵۰}Sn + {}^{۱۰۱}_{۴۲}Mo + \text{نوترون‌ها}$$

$$^{۱}_{۰}n + {}^{۲۳۵}_{۹۲}U \rightarrow {}^{۱۳۳}_{۵۰}Sn + {}^{۱۰۱}_{۴۲}Mo + x({}^{۱}_{۰}n) \Rightarrow +۱ + ۲۳۵ = ۱۳۳ + ۱۰۱ + (x \times ۱) \Rightarrow x = ۲$$

۱۶) بازدهٔ نیروگاه هسته‌ای بوشهر حدود ۳۵درصد است. یعنی ۶۵درصد انرژی حاصل از شکافت ایزوتوپ اورانیم ۲۳۵، به صورت گرما تلف و حدود ۳۵درصد آن، به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. با توجه به اینکه در هر شکافت حدود ۲۰۰MeV انرژی آزاد می‌شود، چند کیلوگرم اورانیم ۲۳۵ در سال شکافت پیدا می‌کند؟ (فرض کنید نیروگاه در طول سال با توان پایدار ۱۰۰۰ مگاوات کار می‌کند.)

توان نیروگاه: $P = ۱۰۰۰MW = ۱۰^{۹} W$

انرژی آزادشده در هر واکنش شکافت: $E_۰ = ۲۰۰MeV = ۲/۱۰^{۸} eV = ۲ \times ۱۰^{۸} \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} J = ۳/۲ \times ۱۰^{-۱۱} J$

بازدهٔ نیروگاه: $Ra = ۰/۳۵$

جرم مولی اورانیوم: $M_U = ۲۳۵g$

عدد آووگادرو: $N_A = ۶/۰۲ \times ۱۰^{۲۳}$

@physicsjafrood

اگر در هر ثانیه N واکنش شکافت در نیروگاه رخ دهد، انرژی حاصل از آن برابر با NE_0 خواهد بود. با توجه به تعریف بازده داریم:

$$Ra = \frac{E_{\text{خروجی}}}{E_{\text{ورودی}}} \Rightarrow ۰/۳۵ = \frac{Pt}{NE_0} = \frac{۱۰^{۹} \times ۱}{N \times ۳/۲ \times ۱۰^{-۱۱}} \Rightarrow N = ۸/۹۲ \times ۱۰^{۱۹}$$

بنابراین برای تولید چنین توان خروجی در نیروگاه، در هر ثانیه باید $N = ۸/۹۲ \times ۱۰^{۱۹}$ واکنش شکافت رخ دهد. با استفاده از عدد آووگادرو تعداد مول‌های اورانیوم شکافته‌شده در یک ثانیه را محاسبه می‌کنیم.

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{۸/۹۲ \times ۱۰^{۱۹}}{۶/۰۲ \times ۱۰^{۲۳}} = ۱/۴۸ \times ۱۰^{-۴} \text{ mol}$$

جرم اورانیوم مصرف‌شده در هر ثانیه در نیروگاه برابر است با:

$$m = nM_U = ۱/۴۸ \times ۱۰^{-۴} \times ۲۳۵ = ۳/۴۷۸ \times ۱۰^{-۲} \text{ g}$$

بنابراین مقدار اورانیوم مصرف‌شده در یک سال برابر است با:

$$m_{\text{سال}} = mt = ۳/۴۷۸ \times ۱۰^{-۲} \times (۳۶۵ \times ۲۴ \times ۳۶۰۰) = ۱/۰۹ \times ۱۰^{۶} \text{ g} = ۱۰۹۰ \text{kg}$$

۱۷ انرژی آزادشده در هر واکنش شکافت اورانیم ۲۳۵ با یک نوترون کُند حدود ۲۰۲/۵MeV و در هر واکنش گداختِ دوتریم با تریتیم حدود ۱۷/۶MeV است.

الف) تعداد نوکلئون‌های شرکت‌کننده در هر واکنش شکافت چقدر است؟ انرژی آزادشده به ازای هر نوکلئون را حساب کنید.

در واکنش شکافت اورانیوم ۲۳۵ یک نوترون جذب می‌کند. بنابراین تعداد کل نوکلئون‌های شرکت کننده برابر ۲۳۶ است. به این ترتیب انرژی آزاد به ازای هر نوکلئون برابر است با:

$$\frac{۲۰۲/۵}{۲۳۶} = ۰/۸۶ \text{MeV}$$

ب) تعداد نوکلئون‌های شرکت‌کننده در هر واکنش گداخت چقدر است؟ انرژی آزادشده به ازای هر نوکلئون را حساب کنید.

در واکنش گداخت هسته دوتریم شامل یک پروتون و یک نوترون و هسته تریتیم شامل یک پروتون و دو نوترون است بنابراین در مجموع ۵ نوکلئون در واکنش شرکت می‌کنند. انرژی آزادشده در واکنش گداخت به ازای هر نوکلئون برابر است با:

$$\frac{۱۷/۶}{۵} = ۳/۵۲ \text{MeV}$$

پ) نتیجه‌های قسمت (الف) و (ب) را با یکدیگر مقایسه کنید. با توجه به نیاز روزافزون بشر به انرژی، و با توجه به اینکه مواد قابل شکافت مانند ^{۲۳۵}U به مقدار بسیار کمی در طبیعت وجود دارد ولی دوتریم به طور فراوان در آب اقیانوس‌ها و دریاها موجود است و جدا کردن آن از هیدروژن معمولی آسان و کم‌هزینه است، اهمیت این مقایسه را توضیح دهید.

مقایسهٔ مقادیر به‌دست‌آمده در قسمت الف و ب نشان می‌دهد که انرژی آزادشده به ازای هر نوکلئون در انجام واکنش گداخت بسیار بیشتر از واکنش شکافت است. بنابراین با توجه به منابع فراوان و در دسترس بودن مواد شرکت‌کننده در واکنش گداخت و همچنین انرژی بیشتری که در این واکنش تولید می‌شود، سرمایه‌گذاری برای تولید انرژی با استفاده از راکتورهای گداخت مورد توجه بسیاری از کشورها قرار گرفته است.