تمارین فصل اول

(قسمت سقوط آزاد مخصوص رشته ریاضی می باشد)

راهنمای پاسخ‌یابی پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۱

۱ــ۱ شناخت حرکت

۱ الف)

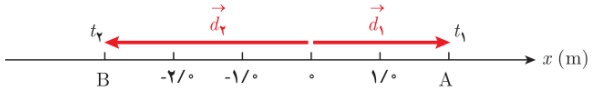
$$s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{۸۸\text{km}}{\frac{۴}{۳}h} = ۶۶\text{km/h}$$

$$v_{av} = \frac{d}{\Delta d} = \frac{۶۰\text{km}}{\frac{۴}{۳}h} = ۴۵\text{km/h}$$

ب) مفهوم فیزیکی تندی متوسط اشاره بر این دارد که خودرو به‌طور میانگین در هر ساعت چه مسافتی از مسیر را پیموده است. در حالی که مفهوم فیزیکی سرعت متوسط، اشاره بر این نکته دارد که خودرو به‌طور میانگین در هر ساعت چقدر به مقصد خود نزدیک‌تر شده است. (یعنی در جهت بردار جابه‌جایی حرکت کرده است.)

پ) اگر مسیر جاده بین مبدأ و مقصد تقریباً مستقیم باشد در این صورت تندی متوسط با اندازهٔ سرعت متوسط تقریباً برابر خواهد شد. در ادامهٔ این مسئله می‌توانید از دانش‌آموزان بخواهید تا مسیرهای دسترسی بین شهرهای استان محل اقامت خود را از این منظر بررسی کنند.

۲ الف) بردارهای مکان متحرک برای لحظه‌های $t_۱$ و $t_۲$ روی شکل زیر نشان داده شده است. (برای لحظهٔ $t_۳$ نیز به طور مشابه می‌توانید رسم کنید.)



$$\vec{d}_۱ = ۲\vec{i} \quad , \quad \vec{d}_۲ = -۳\vec{i} \quad \text{(در SI)}$$

ب) بردار جابه‌جایی در بازهٔ زمانی $t_۱$ تا $t_۲$ برابر است با

$$\vec{d} = \vec{d}_۲ - \vec{d}_۱ = -۳\vec{i} - ۲\vec{i} = -۵\vec{i} \quad \text{(در SI)}$$

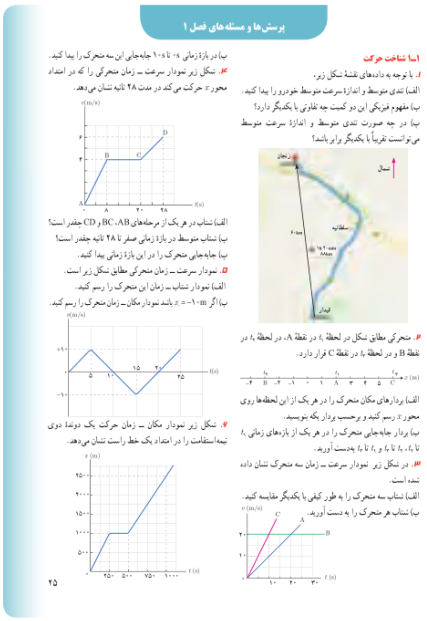
۳ الف) متحرک B دارای حرکت با سرعت ثابت و در نتیجه بدون شتاب است. متحرک‌های A و C دارای حرکت شتابدار ثابت‌اند و با توجه به بیشتر بودن شیب نمودار سرعت ــ زمان متحرک C، شتاب این متحرک از شتاب متحرک A بزرگ‌تر است.

ب) مشابه مثال ۱ــ۹ و نتیجه‌گیری این مثال که در پایان اشاره شده است دانش‌آموزان به سادگی می‌توانند شتاب هر متحرک را به‌دست آورند.

پ) با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۴ به سادگی می‌توان جابه‌جایی این سه متحرک را در بازهٔ زمانی داده شده پیدا کرد.

$$\Delta x_{_B} = (v_{av})_B \Delta t = (۲۰\text{m/s})(۱۰\text{s}) = ۲۰۰\text{m}$$

از آنجا که دانش‌آموزان در درس ریاضی پایهٔ یازدهم با پیدا کردن نقطه وسط یک پاره خط آشنا شده‌اند به سادگی می‌توانند برای

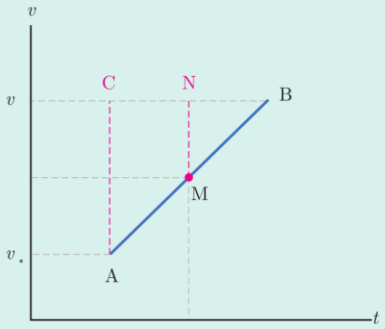

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۱

متحرک‌های A و C، از رابطهٔ $v_{av}=\frac{v_0+v}{2}$ استفاده کنند. به این ترتیب داریم :

$$\Delta x_A=(v_{av})_A\Delta t=\left(\frac{0+10\,m/s}{2}\right)(10\,s)=50\,m$$

$$\Delta x_C=(v_{av})_e\Delta t=\left(\frac{0+20\,m/s}{2}\right)(10\,s)=100\,m$$

اثبات رابطهٔ ۱ـ ۹



نقطهٔ M وسط پارهٔ خط AB قرار دارد.
مثلث‌های BNM و BCA با یکدیگر متشابه‌اند. به این ترتیب داریم :

$$\frac{NM}{AC}=\frac{BM}{BA}=\frac{BM}{2BM}\Rightarrow\frac{NM}{v+v_0}=\frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow NM=\frac{v+v_0}{2}$$

از طرفی NM برابر میانگین v_0 تا v است.

۴ الف) مشابه مثال ۱ـ۹ است.
ب) با استفاده از رابطهٔ ۱ـ۶ داریم :

$$a_{av}=\frac{v_2-v_1}{t_2-t_1}=\frac{6\,m/s-0}{28\,s-0}=0/2\,m/s^2$$

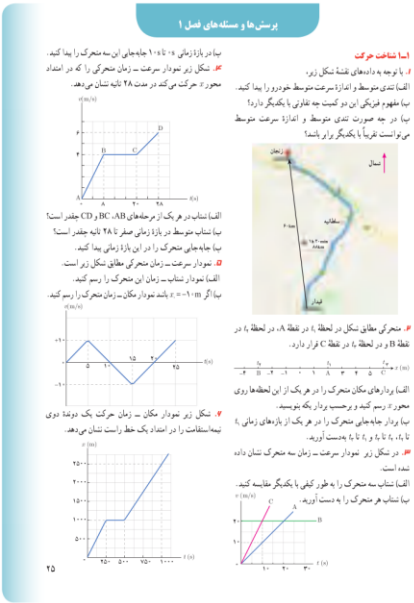
پ) مشابه مثال قبل قسمت (پ).

۵ الف) با توجه به نمودار سرعت ـ زمان، شتاب متحرک را در بازه‌های متفاوت پیدا می‌کنیم. دانش‌آموزان باید توجه کنند که در لحظه‌هایی که شتاب متحرک تغییر کرده است مورد بررسی قرار نمی‌گیرند.
دربازهٔ زمانی ۰ تا 5s

$$a=\frac{(10-0)m/s}{5s}=2m/s^2$$

دربازهٔ زمانی 5s تا 15s

$$a=\frac{(-10-10)m/s}{10\,s}=-2m/s^2$$


پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۱

۱ـ۱ شناخت حرکت

۱. با توجه به داده‌های نقطهٔ شکل زیر،
الف) تندی متوسط و اندازهٔ سرعت متوسط خودرو را پیدا کنید.
ب) مفهوم فیزیکی این دو کمیت چه تفاوتی با یکدیگر دارد؟
پ) در چه صورت تندی متوسط و اندازهٔ سرعت متوسط می‌توانند تقریباً با یکدیگر برابر باشند؟

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.

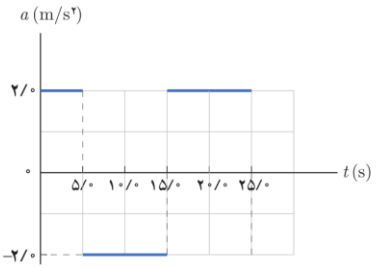
الف) بردارهای مکان متحرک را در هر یک از این لحظه‌ها روی محور x رسم کنید و برحسب بردار یکه بنویسید.
ب) بردار جابه‌جایی متحرک را در هر یک از بازه‌های زمانی t_1 تا t_2، t_2 تا t_3 و t_1 تا t_3 به‌دست آورید.

۳. در شکل زیر نمودار سرعت ـ زمان سه متحرک نشان داده شده است.
الف) شتاب سه متحرک را به طور کیفی با یکدیگر مقایسه کنید.
ب) شتاب هر متحرک را به دست آورید.

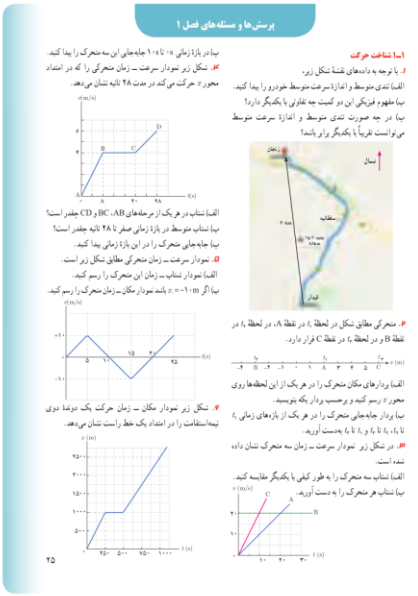
۲۵

دربازهٔ زمانی ۱۵s تا ۲۵s

$$a=\frac{(+۱۰)\text{m/s}^۲}{۱۰\text{s}}=+۲\text{m/s}^۲$$



ب) از رابطهٔ ۱ــ ۴ و مشابه مسئله ۳ قسمت (پ)، جابه‌جایی متحرک را در هر یک از بازه‌های زمانی پیدا می‌کنیم.


پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۱

۱ــ۱ شناخت حرکت

۱. با توجه به داده‌های نقشهٔ شکل زیر،
الف) تندی متوسط و اندازهٔ سرعت متوسط خودرو را پیدا کنید.
ب) مفهوم فیزیکی این دو کمیت چه تفاوتی با یکدیگر دارد؟
پ) در چه صورت تندی متوسط و اندازهٔ سرعت متوسط می‌توانند تقریباً با یکدیگر برابر باشند؟

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.
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 به‌دست آورید.

۳. در شکل زیر نمودار سرعت ــ زمان سه متحرک نشان داده شده است.
الف) شتاب سه متحرک را به طور کیفی با یکدیگر مقایسه کنید.
ب) شتاب هر متحرک را به دست آورید.

۲۵

در بازهٔ صفر تا ۵s

$$\Delta x=v_{av}\Delta t=\left(\frac{۰+۱۰\text{m/s}}{۲}\right)(۵\text{s})=۲۵\text{m}$$

چون $x_۰=-۱۰\text{m}$ فرض شده است، در پایان این بازهٔ زمانی، یعنی در لحظهٔ $t=۵\text{s}$، مکان متحرک در $x=۱۵\text{m}$ قرار دارد.

دربازهٔ ۵s تا ۱۰s

$$\Delta x=\left(\frac{۱۰\text{m/s}+۰}{۲}\right)(۵\text{s})=۲۵\text{m}$$

به این ترتیب در لحظهٔ $t=۱۰\text{s}$، مکان متحرک در $x=۴۰\text{m}$ قرار دارد.

دربازهٔ ۱۰s تا ۱۵s

$$\Delta x=\left(\frac{۰-۱۰\text{m/s}}{۲}\right)(۵\text{s})=-۲۵\text{m}$$

به این ترتیب در لحظه $t=۱۵\text{s}$، مکان متحرک در $x=۱۵\text{m}$ قرار دارد.

دربازهٔ ۱۵s تا ۲۰s

$$\Delta x=\left(\frac{-۱۰\text{m/s}+۰}{۲}\right)(۵\text{s})=-۲۵\text{m}$$

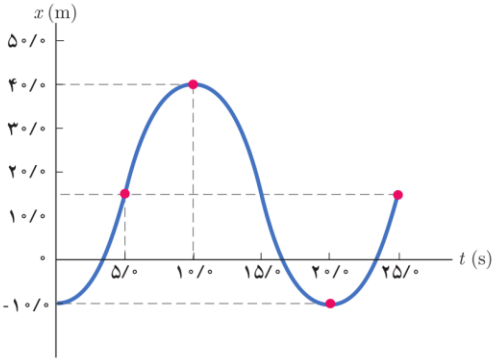
به این ترتیب در لحظهٔ $t=۲۰\text{s}$، مکان متحرک در $x=-۱۰\text{m}$ قرار دارد.

دربازهٔ ۲۰s تا ۲۵s

$$\Delta x=\left(\frac{۰+۱۰\text{m/s}}{۲}\right)(۵\text{s})=۲۵\text{m}$$

به این ترتیب در لحظهٔ $t=۲۵\text{s}$، مکان متحرک در $x=۱۵\text{m}$ قرار دارد.

چون در تمامی بازه‌های ذکر شده، حرکت با شتاب است، لذا نمودار مکان ــ زمان آن مطابق شکل صفحهٔ بعد است.

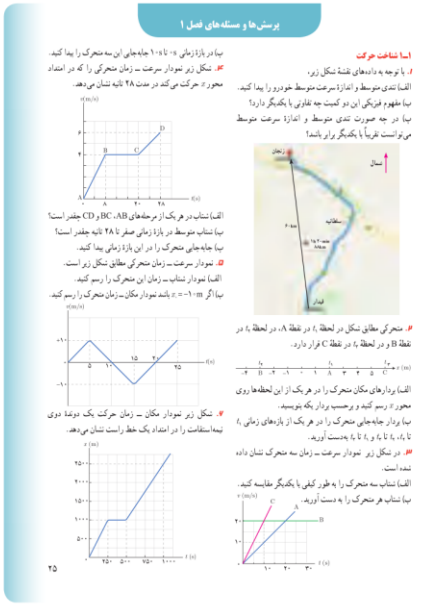


۶ الف) در بازه‌ای که شیب نمودار سرعت ــ زمان بیشتر است؛ یعنی بازهٔ صفر تا ۲۵۰ s.

ب) در بازه‌ای که شیب نمودار سرعت ــ زمان صفر است؛ یعنی بازهٔ ۲۵۰ s تا ۵۰۰ s.

پ) مشابه مثال ۱ــ ۵

ت) مشابه مثال ۱ــ۵


پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۱

۱ــ۱ شناخت حرکت

۱. با توجه به داده‌های نقشهٔ شکل زیر،

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

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

پ) در چه صورت تندی متوسط و اندازهٔ سرعت متوسط می‌توانند تقریباً با یکدیگر برابر باشند؟

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.

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 به‌دست آورید.

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

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

ب) شتاب هر متحرک را به دست آورید.

ب) در بازهٔ زمانی $t=0$ تا $t=10$ جابه‌جایی این سه متحرک را پیدا کنید.

۴. شکل زیر نمودار سرعت ــ زمان متحرکی را که در امتداد محور x حرکت می‌کند در مدت ۴۸ ثانیه نشان می‌دهد.

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

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

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

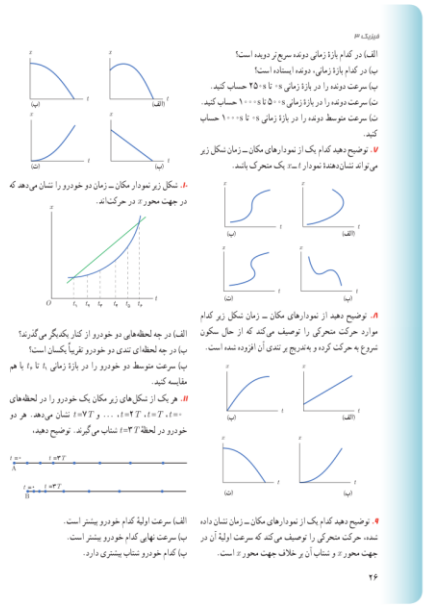
۵. نمودار سرعت ــ زمان متحرکی مطابق شکل زیر است.

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

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

۶. شکل زیر نمودار مکان ــ زمان حرکت یک دونده روی نیمه استقامت را در امتداد یک خط راست نشان می‌دهد.

۲۵


الف) در کدام بازهٔ زمانی دونده سریع‌تر دویده است؟

ب) در کدام بازهٔ زمانی، دونده ایستاده است؟

ب) سرعت دونده را در بازهٔ زمانی $t=0$ تا $t=25$ s حساب کنید.

ت) سرعت دونده را در بازهٔ زمانی $t=50$ تا $t=100$ s حساب کنید.

ث) سرعت متوسط دونده را در بازهٔ زمانی $t=0$ تا $t=100$ s حساب کنید.

۷. توضیح دهید کدام یک از نمودارهای مکان ــ زمان شکل زیر می‌تواند نشان‌دهندهٔ نمودار $v=0$ یک متحرک باشد.

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

۹. توضیح دهید کدام یک از نمودارهای مکان ــ زمان نشان داده شده، حرکت متحرکی را توصیف می‌کند که سرعت اولیهٔ آن در جهت محور x و شتاب آن بر خلاف جهت محور x است.

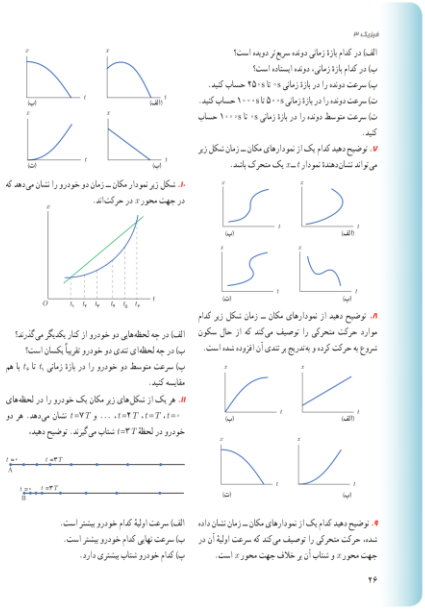
۲۶

۷ دانش‌آموزان باید توجه کنند که متحرک در هر لحظه از زمان صرفاً در یک مکان می‌تواند باشد. لذا نمودارهای مکان ــ زمان شکل‌های الف، ب و ث نمی‌توانند نشان‌دهندهٔ نمودار $x-t$ یک متحرک باشند. نکتهٔ دیگری که دانش‌آموزان باید دقت کنند این است که در هیچ لحظه، مماس بر منحنی $x-t$ نباید موازی محور x شود، زیرا در این حالت سرعت متحرک بی‌نهایت می‌شود که از نظر فیزیکی بی‌معنا و قابل قبول نیست.

۸ در نمودار شکل (ب) شیب مماس بر منحنی $x-t$، با گذشت زمان کاهش می‌یابد و در نمودار شکل (الف) با گذشت زمان شیب منحنی $x-t$ ثابت مانده است. لذا نمودار $x-t$ شکل‌های (پ) و (ت) حرکت متحرکی را توصیف می‌کند که به‌تدریج بر تندی آن افزوده شده است.

۹ برای آنکه سرعت اولیهٔ متحرک در جهت محور x باشد، دانش‌آموزان باید به زاویه‌ای که خط مماس بر منحنی مکان ــ زمان در لحظهٔ $t=0$ با محور زمان می‌سازد توجه کنند. اگر این زاویه مثبت باشد (مانند شکل الف) در این صورت، سرعت اولیهٔ متحرک در جهت محور x است.

همچنین برای آنکه شتاب متحرک در خلاف جهت محور x باشد، با توجه به توضیحی که درخصوص شکل ۱ــ۱۴ داده شد، باید گودی یا تقعر منحنی روبه پایین باشد (مانند شکل الف). البته دانش‌آموزان می‌توانند به چگونگی تغییرات سرعت متحرک در بازهٔ زمانی مورد نظر نیز توجه کنند.



۱۰ الف) در لحظه‌های t_1 و t_4

ب) شیب خط مماس بر منحنی خودروی شتابدار در لحظهٔ t_4، تقریباً موازای نمودار خودرویی است که با سرعت ثابت در حرکت است.

پ) چون دربازهٔ زمانی t_1 تا t_4 برای دو خودرو $\Delta x=x_4-x_1$ یکسان است، لذا سرعت متوسط آنها نیز برابر است.

۱۱ ابتدا باید دانش‌آموزان توجه کنند که نمودارهای نشان داده شده، حرکت دو خودروی A و B را در جهت محور x نشان می‌دهد.

اگر مبدأ حرکت را در $t=0$ محلی در نظر بگیریم که خودرو A شروع به حرکت کرده است، در این صورت همان‌طور که دیده می‌شود خودروی B، در فاصلهٔ دورتری از مبدأ شروع به حرکت کرده است.

الف) حرکت هر دو خودرو در بازهٔ زمانی $t=0$ تا $t=3T$ با سرعت ثابت است. از آنجا که خودروی A در این بازهٔ زمانی مسافت بیشتری را طی کرده است، در نتیجه سرعت اولیهٔ خودروی A بیشتر از خودروی B است.

ب) در بازهٔ زمانی $t=3T$ تا $t=7T$، خودروی B مسافت بیشتری را طی کرده‌است. یعنی

$$\Delta x_A = (v_{av})_A(4T) = (\frac{v_{3A}+v_{vA}}{2})(4T)$$

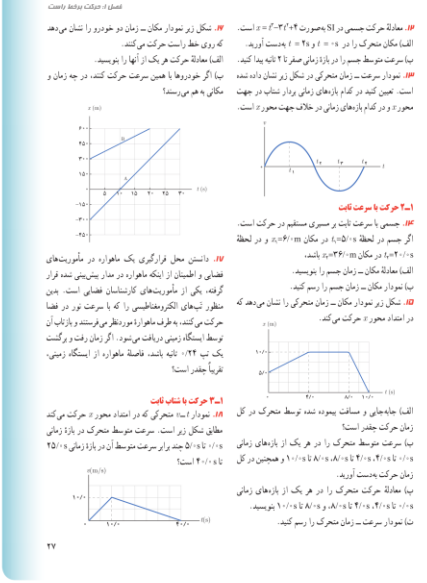
$$\Delta x_B = (v_{av})_B(4T) = (\frac{v_{3B}+v_{vB}}{2})(4T)$$

چون $\Delta x_A<\Delta x_B$ است داریم :

$$v_{3A}+v_{vA} < v_{3B}+v_{vB}$$

از طرفی چون $v_{3A}>v_{3B}$ است (به قسمت الف توجه شود)، در این صورت باید $v_{vB}>v_{vA}$ باشد.

پ) چون تغییرات سرعت خودروی B بیشتر بوده است، لذا دارای شتاب بیشتری نیز هست.



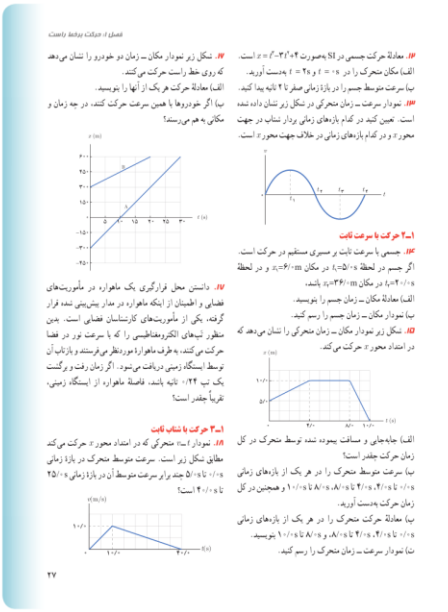
۱۲ الف) با جای‌گذاری لحظه‌های داده شده در معادلهٔ مکان ــ زمان، به سادگی مکان متحرک $x_0=4\text{m}$ و $x=0$ به‌دست می‌آید.

ب) از رابطهٔ ۱ــ ۴ استفاده شود.

همان‌طور که در کتاب درسی نیز تأکید شده است لازم است توجه شود که مشتق‌گیری از رابطهٔ مکان ــ زمان به دست آمده. و پیدا کردن سرعت در یک لحظهٔ خاص، جزو برنامهٔ درسی این کتاب و همچنین ارزشیابی آن نیست. این موضوع درخصوص دوبار مشتق‌گیری از معادلهٔ مکان ــ زمان یا یک بار مشتق‌گیری از معادلهٔ سرعت ــ زمان و پیدا کردن شتاب در هر لحظهٔ دلخواه نیز صادق است.

۱۳ مشابه پرسش ۱ــ ۶ است. کافی است دانش‌آموزان به شیب مماس بر منحنی سرعت ــ زمان در هر بازهٔ دلخواه توجه کنند. برای مثال در بازهٔ t_2 تا t_3، شیب منفی و در نتیجه شتاب در خلاف جهت محور x است.

۱ـ۲ حرکت با سرعت ثابت



۱۲ معادلهٔ حرکت جسمی که با سرعت ثابت در امتداد محور x حرکت می‌کند در رابطهٔ ۱ـ۷ داده شده است.

$$x=vt+x_0$$

در هر یک از لحظه‌های t_1 و t_2 داریم :

$$x_1=vt_1+x_0 \Rightarrow 60\,m=v(5\,s)+x_0$$

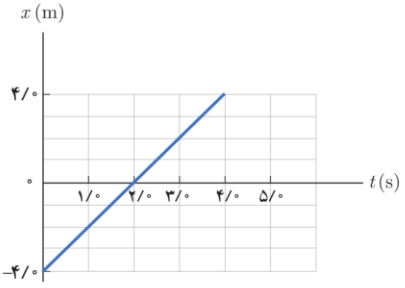
$$x_2+vt_2+x_0 \Rightarrow 360\,m=v(20\,s)+x_0$$

با حل دو معادلهٔ بالا داریم :

$$x_0=-40\,m \quad , \quad v=20\,m/s$$

$$\Rightarrow x=2t-40$$

به این ترتیب معادلهٔ حرکت متحرک در SI به صورت زیر است :



۱۵ الف) در بازهٔ صفر تا ۴۰s

$$\Delta x_1=100\,m-50\,m=50\,m$$

در بازهٔ ۴۰s تا ۸۰s

$$\Delta x_2=100\,m-100\,m=0$$

در بازهٔ ۸۰s تا ۱۰۰s

$$\Delta x_3=0-100\,m=-100\,m$$

به این ترتیب جابه‌جایی کل برابر است با

$$\Delta x=50\,m+0+(-100\,m)=-50\,m$$

به جای این کار می‌توانستیم به‌طور ساده، مکان متحرک را در لحظهٔ $t=100\,s$ از مکان متحرک در شروع حرکت ($t=0$) کم کنیم در این صورت

$$\Delta x = 0-50\,m = -50\,m$$

مسافت پیموده شده برای مجموع اندازهٔ جابه‌جایی‌های متحرک در هر بازهٔ زمانی است. به این ترتیب داریم :

$$l=|\Delta x_1|+|\Delta x_2|+|\Delta x_3|=|50\,m|+0+|-100\,m| = 150\,m$$

ب) از رابطهٔ ۱ـ۴ استفاده شود. برای مثال در بازهٔ ۸۰s تا ۱۰۰s داریم :

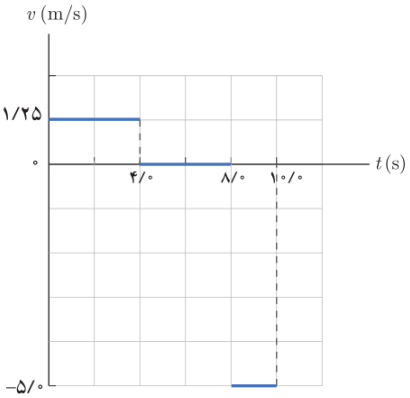
$$v_{av} = \frac{-100\,m}{100\,s-80\,s} = -5\,m/s$$

پ) مشابه قسمت الف تمرین ۱۴ است. برای مثال در بازهٔ صفر تا ۴/۰s داریم :

$$۱۰/۰\text{m} = v(۴/۰\text{s})+۵/۰\text{m} \Rightarrow v = ۱/۲\text{m/s}$$

از آنجا که هنگام آموزش و ارزشیابی، توجه به تعداد ارقام با معنا جزو اهداف کتاب نیست، لذا می‌توانیم $v=۱/۲۵\text{m/s}$ بگیریم. همچنین به‌طور مشابه در بازهٔ ۸/۰s تا ۱۰/۰s ، داریم : $v=-۵/۰\text{m/s}$. به این ترتیب معادلهٔ حرکت جسم در بازه‌های زمانی داده شده عبارت است از (در SI) :

ت)
$$\begin{cases} x = ۱/۲۵t + ۵ \\ x = ۱۰ \\ x = -۵t + ۱۰ \end{cases}$$



۱۶ الف) مشابه قسمت پ مسئله ۱۵ است. معادلهٔ حرکت این دو متحرک در SI به صورت زیر است

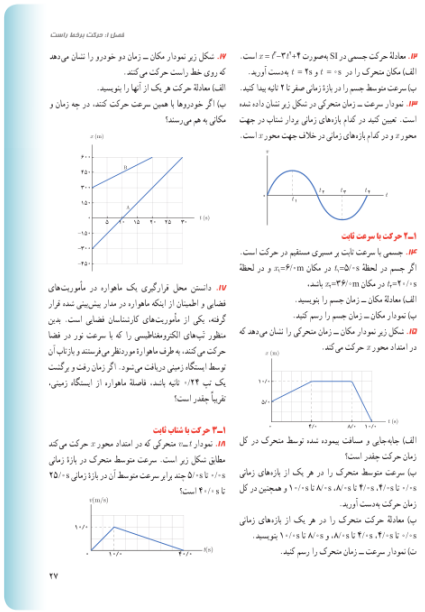
$$x_A = ۳۰t - ۳۰۰$$

$$x_B = ۱۵t + ۳۰۰$$

ب) با توجه به شرط $x_A = x_B$، زمان هم رسی در متحرک را به سادگی می‌توان به دست آورد ($t=۴۰\text{s}$). با قراردادن زمان هم رسی در یکی از معادله‌های حرکت، مکان هم‌رسی به دست می‌آید ($x=۹۰۰\text{m}$).

۱۷ اگر تندی نور را $۳\times۱۰^۸\text{m/s}$ در نظر بگیریم، در این صورت با توجه به اینکه زمان رفت ۰/۱۲s است، داریم :

$$\Delta x = v\Delta t = (۳\times۱۰^۸\text{m/s})(۰/۱۲\text{s}) = ۳/۶\times۱۰^۷\text{m}$$


فصل ۱: حرکت برخط راست

۱۲. معادلهٔ حرکت جسمی در SI به‌صورت $x=t^۲-۳t$ است.
الف) مکان متحرک را در $t=۰$ و $t=۲\text{s}$ به‌دست آورید.
ب) سرعت متوسط جسم را در بازهٔ زمانی صفر تا ۲ ثانیه پیدا کنید.

۱۳. نمودار سرعت ـ زمان متحرکی در شکل زیر نشان داده شده است. تعیین کنید در کدام بازه‌های زمانی بردار شتاب در جهت محور x و در کدام بازه‌های زمانی در خلاف جهت محور x است.

۱ـ۳ حرکت با سرعت ثابت

۱۴. جسمی با سرعت ثابت بر مسیری مستقیم در حرکت است. اگر جسم در لحظهٔ $t_۱=۵/۰\text{s}$ در مکان $x_۱=۶/۰\text{m}$ و در لحظهٔ $t_۲=۲۰/۰\text{s}$ در مکان $x_۲=-۳۶/۰\text{m}$ باشد،
الف) معادلهٔ مکان ـ زمان جسم را بنویسید.
ب) نمودار مکان ـ زمان جسم را رسم کنید.

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

الف) جابه‌جایی و مسافت پیموده شده توسط متحرک در کل زمان حرکت چقدر است؟
ب) سرعت متوسط متحرک را در هر یک از بازه‌های زمانی ۰/۰s تا ۴/۰s، ۴/۰s تا ۸/۰s، ۸/۰s تا ۱۰/۰s و همچنین در کل زمان حرکت به‌دست آورید.
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.
ت) نمودار سرعت ـ زمان متحرک را رسم کنید.

۱۷. شکل زیر نمودار مکان ـ زمان دو خودرو را نشان می‌دهد که روی خط راست حرکت می‌کنند.
الف) معادلهٔ حرکت هر یک از آنها را بنویسید.
ب) اگر خودروها با همین سرعت حرکت کنند، در چه زمان و مکانی به هم می‌رسند؟

۱۸. نمودار vـt 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؟

۱۹. دانستن محل قرارگیری یک ماهواره در مأموریت‌های فضایی و اطمینان از اینکه ماهواره در مدار پیش‌بینی شده قرار گرفته، یکی از مأموریت‌های کارشناسان فضایی است. بدین منظور تپ‌های الکترومغناطیسی را که با سرعت نور در فضا حرکت می‌کنند، به طرف ماهواره 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؟

۱ـ۴ حرکت با شتاب ثابت

۲۷

۱ـ۳ـ حرکت با شتاب ثابت

۱۸ در هر یک از بازه‌های زمانی صفر تا ۱۰/s و همچنین ۱۰/۰s تا ۴۰/۰s حرکت دارای شتاب ثابت است. لذا با استفاده از معادلهٔ ۱ـ۹ داریم.

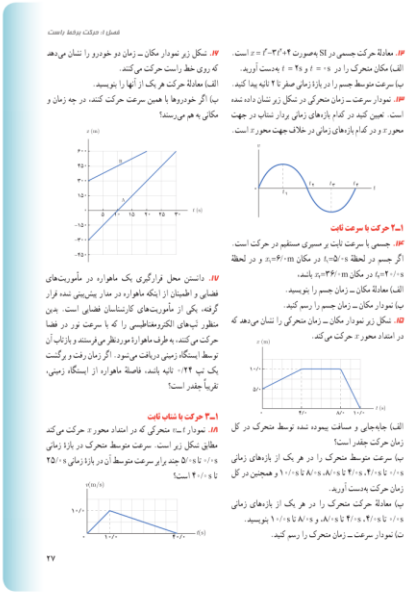
در بازهٔ صفر تا ۵/۰s

$$v_{av} = \frac{0 + 5/0\,m/s}{2} = 2/5\,m/s$$

در بازهٔ ۲۵/۰s تا ۴۰/۰s

$$v_{av} = \frac{5/0\,m/s + 0}{2} = 2/5\,m/s$$

به این ترتیب نسبت سرعت متوسط متحرک در بازه‌های داده شده برابر ۱ است.



فصل ۱: حرکت بر خط راست

۱۶. معادلهٔ حرکت جسمی در SI به‌صورت $x = t^2 - 3t + 2$ است.
الف) مکان متحرک را در $t = 0$ و $t = 2s$ به‌دست آورید.
ب) سرعت متوسط جسم را در بازهٔ زمانی صفر تا ۲ ثانیه پیدا کنید.

۱۶. نمودار سرعت ـ زمان متحرکی در شکل زیر نشان داده شده است. تعیین کنید در کدام بازه‌های زمانی بردار شتاب در جهت محور x و در کدام بازه‌های زمانی در خلاف جهت محور x است.

۱ـ۳ حرکت با شتاب ثابت

۱۶. جسمی با سرعت ثابت بر مسیری مستقیم در حرکت است. اگر جسم در لحظهٔ $t_1 = 5/0\,s$ در مکان $x_1 = 6/0\,m$ و در لحظهٔ $t_2 = 20/0\,s$ در مکان $x_2 = -36/0\,m$ باشد:
الف) معادلهٔ مکان ـ زمان جسم را بنویسید.
ب) نمودار مکان ـ زمان جسم را رسم کنید.

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

الف) جابه‌جایی و مسافت پیموده شده توسط متحرک در کل زمان حرکت چقدر است؟
ب) سرعت متوسط متحرک را در هر یک از بازه‌های زمانی ۰/۰s تا ۴/۰s، ۴/۰s تا ۸/۰s، ۸/۰s تا ۱۰/۰s و همچنین در کل زمان حرکت به‌دست آورید.
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.
ت) نمودار سرعت ـ زمان متحرک را رسم کنید.

۱۷. شکل زیر نمودار مکان ـ زمان دو خودرو را نشان می‌دهد که روی خط راست حرکت می‌کنند.
الف) معادلهٔ حرکت هر یک از آن‌ها را بنویسید.
ب) اگر خودروها با همین سرعت حرکت کنند، در چه زمان و مکانی به هم می‌رسند؟

۱۷. دانستن محل قرارگیری یک ماهواره در مأموریت‌های فضایی و اطمینان از اینکه ماهواره در مدار پیش‌بینی شده قرار گرفته، یکی از مأموریت‌های کارشناسان فضایی است. بدین منظور شیءهای الکترومغناطیسی را که با سرعت نور در فضا حرکت می‌کنند، به طرف ماهواره روانه می‌کنند و بازتاب آن توسط ایستگاه زمینی دریافت می‌شود. اگر زمان رفت و برگشت یک تپ ۲۴۰/۰ ثانیه باشد، فاصلهٔ ماهواره از ایستگاه زمینی، تقریباً چقدر است؟

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

کانال تلگرام و اینستاگرام
گروه آموزشی مهندس علی عاقلی
Physics_Agheli

۱۹ الف) از رابطهٔ ۱ــ۴ داریم :

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

ب) با توجه به اینکه در $t=۱/۰\text{s}$ شیب خط مماس بر منحنی صفر است، لذا سرعت متحرک در این لحظه برابر صفر است. در نتیجه داریم :

$$v=at+v_۰ \Rightarrow ۰=a(۱/۰\text{s})+v_۰ \Rightarrow v_۰=-a$$

از طرفی در همین لحظه داریم $x=-۲/۰\text{m}$ و $t=۱/۰\text{s}$. با جای‌گذاری در معادله مکان زمان داریم (در SI) :

$$x=\frac{۱}{۲}at^۲+v_۰t+x_۰$$

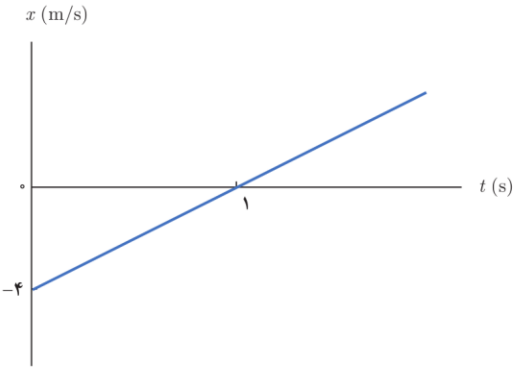
$$-۲/۰m=\frac{۱}{۲}a(۱/۰\text{s})-a(۱/۰\text{s})+۰ \Rightarrow a=۴/۰\text{m/s}^۲$$

$$x=۲t^۲-۴t$$

پ) از رابطهٔ $v=۴t-۴$ ، داریم (در SI) :

$$v=۴\times۳-۴=۸\text{m/s}$$

ت)



۲۰ الف) با توجه به داده‌های مسئله، مناسب‌ترین معادله برای حل این قسمت، استفاده از رابطهٔ ۱ــ۱۱ است ($a=-۵/۰\text{m/s}^۲$).
ب) با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۸، مدت ۲s پس از شروع حرکت، سرعت متحرک به $+۱۸\text{km/h}$ می‌رسد.

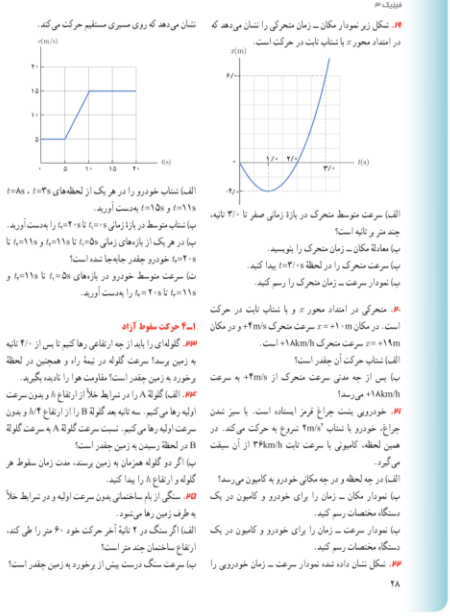
۲۱ الف) حرکت خودرو با شتاب ثابت و حرکت کامیون با سرعت ثابت است. با نوشتن معادله‌های حرکت خودرو و کامیون داریم (در SI) :

خودرو $x_۱=\frac{۱}{۲}at^۲+v_۰t+x_۰=t^۲$

کامیون $x_۲=vt+x_۰=۱۰t$

(مبدأ حرکت را، محل چراغ قرمز در نظر گرفته‌ایم $x_۰=۰$.)

زمان هم‌رسی $x_۱=x_۲ \Rightarrow t=۱۰\text{s}$


فیزیک ۳

۱۸. شکل زیر نمودار مکان ــ 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؟
ب) معادلهٔ مکان ــ زمان متحرک را بنویسید.
پ) سرعت متحرک را در لحظهٔ $t=۲/۰\text{s}$ پیدا کنید.
ت) نمودار سرعت ــ زمان متحرک را رسم کنید.

۱۹. متحرکی در امتداد محور x و با شتاب ثابت در حرکت است. در مکان $x=+۱۰\text{m}$ سرعت متحرک $+۴\text{m/s}$ و در مکان $x=+۱۹\text{m}$ سرعت متحرک $+۱۸\text{km/h}$ است.
الف) شتاب حرکت آن چقدر است؟
ب) پس از چه مدتی سرعت متحرک از $+۳\text{m/s}$ به سرعت $+۱۸\text{km/h}$ می‌رسد؟

۲۰. خودرویی پشت چراغ قرمز ایستاده است. با سبز شدن چراغ، خودرو با شتاب $۳\text{m/s}^۲$ 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؟
ب) نمودار مکان ــ زمان را برای خودرو و کامیون در یک دستگاه مختصات رسم کنید.

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

الف) شتاب خودرو را در هر یک از لحظه‌های $t=۳\text{s}$ ، $t=۸\text{s}$ و $t=۱۱\text{s}$ به‌دست آورید.
ب) شتاب متوسط در بازهٔ زمانی $t_۱=۰$ تا $t_۲=۲۰/۰\text{s}$ را به‌دست آورید.
پ) در هر یک از بازه‌های زمانی $t_۱=۵\text{s}$ تا $t_۲=۱۱\text{s}$ و $t_۱=۱۱\text{s}$ تا $t_۲=۲۰\text{s}$، خودرو چقدر جابه‌جا شده است؟
ت) سرعت متوسط خودرو در بازه‌های $t_۱=۵\text{s}$ تا $t_۲=۱۱\text{s}$ و $t_۱=۱۱\text{s}$ تا $t_۲=۲۰\text{s}$ را به‌دست آورید.

۱ــ۴ حرکت سقوط آزاد

۲۲. گلوله‌ای را باید از چه ارتفاعی رها کنیم تا پس از ۲/۰ ثانیه به زمین برسد؟ سرعت گلوله در نیمهٔ راه و همچنین در لحظهٔ برخورد به زمین چقدر است؟ مقاومت هوا را نادیده بگیرید.

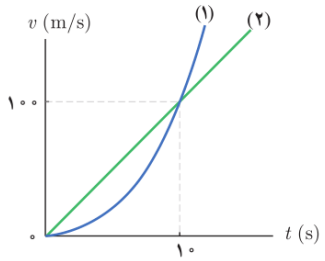
۲۳. الف) گلولهٔ A را در شرایط خلأ از ارتفاع h و بدون سرعت اولیه رها می‌کنیم. سه ثانیه بعد گلولهٔ B را از ارتفاع $۴h$ و بدون سرعت اولیه رها می‌کنیم. نسبت سرعت گلولهٔ A به سرعت گلولهٔ B در لحظهٔ رسیدن به زمین چقدر است؟
ب) اگر دو گلوله همزمان به زمین برسند، مدت زمان سقوط هر گلوله و ارتفاع h را پیدا کنید.

۲۴. 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؟
ب) سرعت سنگ درست پیش از برخورد به زمین چقدر است؟

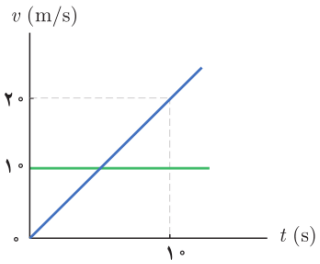
Physics_Agheli
کانال تلگرام و اینستاگرام
گروه آموزشی مهندس علی عاقلی

مکان هم‌رسی $x_۲=۱۰\times۱۰=۱۰۰\text{m}$

ب)



پ)



۲۲ شتاب متحرک در لحظه‌های $t=۳\text{s}$، $t=۱۱\text{s}$ و $t=۱۵\text{s}$ به دلیل ثابت بودن سرعت متحرک، صفر است. شتاب متحرک در لحظهٔ $t=۸\text{s}$ با شتاب متوسط متحرک در بازهٔ زمانی ۵s تا ۱۰s برابر است. به این ترتیب داریم :

$$a_{av}=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{(۱۵-۵)\text{m/s}}{۵\text{s}}=۲\text{m/s}^۲$$

ب)

$$a_{av}=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{(۱۵-۵)\text{m/s}}{۲۰\text{s}}=۰/۵\text{m/s}^۲$$

پ) با توجه به آنچه در مثال ۱ــ۱۲ اشاره شد، سطح بین نمودار سرعت ــ زمان و محور زمان در هر بازهٔ زمانی برابر جابه‌جایی در آن بازه است. لذا

در بازهٔ ۵s تا ۱۱s $\quad\Delta x=۶۵\text{m}$

در بازهٔ ۱۱s تا ۲۰s $\quad\Delta x=۱۳۵\text{m}$

ت) با توجه به نتایج قسمت پ و رابطهٔ ۱ــ۴، سرعت متوسط به دست می‌آید.

۱ــ۴ حرکت سقوط آزاد

۲۳ $$y=-\frac{۱}{۲}gt^۲=-\frac{۱}{۲}(۹/۸\text{m/s}^۲)(۴/۰\text{s})^۲=-۷۸/۴\text{m}$$

مبدأ حرکت، محل رها شدن جسم و جهت رو به بالا مثبت انتخاب شده است.

در نیمه راه :

$$v^۲ = -۲gy = -۲(۹/۸\,m/s^۲)(-۳۴/۲\,m)$$

دانش‌آموزان باید توجه کنند چون

$$\Rightarrow v = -۲۵/۹\,m/s$$

جهت رو به بالا مثبت انتخاب شده است، لذا وقتی جسم رو به پایین می‌آید، جهت سرعت آن خلاف محور y است و علامت منفی در سرعت نشان‌دهندهٔ همین موضوع است.

لحظه برخورد به زمین :

$$v^۲ = -۲gy = -۲(۹/۸\,m/s^۲)(-۷۸/۴\,m) \Rightarrow v = -۳۹/۲\,m/s$$

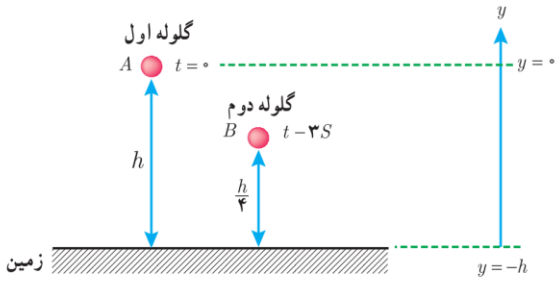
۲۴ مختصات دو گلوله را در معادلهٔ مکان ــ زمان قرار می‌دهیم :

$$y = -\frac{۱}{۲}gt^۲ + v_۰t + y_۰$$

گلولهٔ اول :

$$h = -\frac{۱}{۲}gt^۲$$

گلولهٔ دوم :



از رابطه ۱ــ۴ داریم :

$$v^۲ = -۲g(y - y_۰)$$

$$\begin{cases} v_A^۲ = -۲g(-h - ۰) = ۲gh \\ v_B^۲ = -۲g\left[-h - (\frac{۳}{۴}h)\right] = \frac{۲gh}{۴} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{v_A}{v_B} = \frac{\sqrt{۲gh}}{\sqrt{۲gh/۴}} = ۲$$

ب) معادلهٔ مکان ــ زمان هر دو گلوله به ترتیب برابر است با

$$y_A = -\frac{۱}{۲}gt^۲ \Rightarrow -h = \frac{-۱}{۲}gt^۲$$

$$y_B = -\frac{۱}{۲}g(t-۳s)^۲ - \frac{۳}{۴}h \Rightarrow -h = -\frac{۱}{۲}g(t-۳)^۲ - \frac{۳}{۴}h$$

$$\Rightarrow \frac{-h}{۴} = -\frac{۱}{۲}g(t-۳)^۲ \Rightarrow -h = -۲g(t-۳)^۲$$

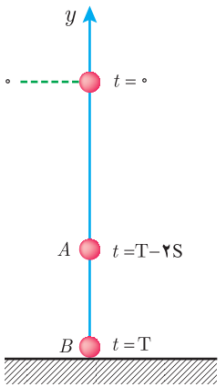
به این ترتیب مدت زمانی که گلولهٔ A در راه بوده است برابر است با

$$-\frac{۱}{۲}gt^۲ = -۲g(t-۳)^۲ \Rightarrow t = ۶\text{s}$$

چون گلولهٔ B با ۳ ثانیه تأخیر رها شده است، به این ترتیب این گلوله پس از ۳ ثانیه به زمین می‌رسد.

$$h = \frac{۱}{۲}gt^۲ = \frac{۱}{۲}(۹/۸\text{m/s}^۲)(۶\text{s})^۲ = ۱۷۶/۴\text{m}$$

۲۵ الف) ارتفاع ساختمان را h و زمان کل حرکت سنگ را T فرض می‌کنیم. اگر مبدأ مختصات را محل رها شدن سنگ بگیریم($y_\circ=\circ$) در این صورت معادله حرکت ۱ــ۱۳ را برای هر یک از نقاط A و B به‌طور جداگانه می‌نویسیم.



مختصات مکان و زمان نقطهٔ A عبارت است از

$$y_A = -h + ۶۰\text{m}\ ,\ t = T - ۲\text{s}$$

همچنین مختصات مکان و زمان سنگ در نقطهٔ B عبارت است از

$$y_B = -h\ ,\ t = T$$

به این ترتیب با جای‌گذاری در معادلهٔ ۱ــ۱۳ داریم :

$$\begin{cases} -h + ۶۰ = -\frac{۱}{۲}g(T-۲)^۲ & (۱) \\ -h = -\frac{۱}{۲}gT^۲ & (۲) \end{cases}$$

با جای‌گذاری (۲) در (۱) داریم

$$-h + ۶۰ = -h - ۲g + ۲g\sqrt{\frac{۲h}{g}}$$

$$۶۰ + g = ۲g\sqrt{\frac{۲h}{g}}$$

$$(۶۰+g)^۲ = ۸gh$$

$$h = \frac{(۶۰+۹/۸)^۲}{۸\times ۹/۸} \approx ۸۰/۸\text{m}$$

ب) از رابطهٔ ۱ــ۱۴ داریم :

$$v_B^۲ = -۲\times ۹/۸(-۸۰/۸-\circ) = ۱۵۸۴$$

$$v_B \simeq -۳۹/۸\,\text{m/s}$$

تمارین فصل دوم

(قسمت حرکت دایره ای مخصوص رشته ریاضی می باشد)

راهنمای پاسخ‌یابی پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۲

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۲

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

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 جدا‌شدن از درخت نشان دهید. ب) در هر حالت واکنش این نیروها را چه اجسامی وارد می‌شود؟

۲. دانش‌آموزی به جرم ۵۰/۰ kg روی یک ترازوی فنری در آسانسور ایستاده است. در هر یک از حالت‌های زیر این ترازو چند نیوتون را نشان می‌دهد؟ (g=۹/۸۰ N/kg)
الف) آسانسور ساکن است.
ب) آسانسور با سرعت ثابت حرکت می‌کند.
پ) آسانسور با شتاب ۱/۲ m/s² به طرف بالا شروع به حرکت می‌کند.
ت) آسانسور با شتاب ۱/۲ m/s² به طرف پایین شروع به حرکت می‌کند.

۳. در شکل نشان داده شده، شخصی با نیروی ۲۰۰ N جسم ۹۰/۰ کیلوگرمی را هُل می‌دهد، اما جسم ساکن می‌ماند. ولی وقتی با نیروی ۳۰۰ N جسم را هُل می‌دهد، جسم در آستانهٔ حرکت قرار می‌گیرد.

الف) نیروی اصطکاک ایستایی بین جسم و سطح در هر حالت چقدر است؟
ب) ضریب اصطکاک ایستایی بین جسم و سطح چقدر است؟
پ) اگر پس از حرکت، شخص با نیروی ۲۰۰ N جسم را هُل دهد و ضریب اصطکاک جنبشی بین سطح و جسم ۰/۴۰ باشد، شتاب حرکت جسم چقدر خواهد شد؟

۴. در شکل روبه‌رو وقتی وزنهٔ ۲/۰ kg را به فنر آویزان می‌کنیم، طول فنر ۱۲/۰ cm می‌شود، و وقتی وزنهٔ ۵/۰ kg را به فنر آویزان می‌کنیم، طول فنر ۱۵/۰ cm می‌شود.
الف) طول فنر چقدر است؟ ب) طول عادی فنر (بدون وزنه) چند سانتی‌متر است؟

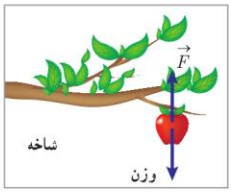
۵. در هر یک از موارد زیر، نیروهای وارد بر جسم را مشخص کنید. واکنش هر یک از این نیروها به چه جسمی وارد می‌شود؟
الف) خودرویی با سرعت ثابت در یک مسیر مستقیم افقی در حال حرکت است.
ب) کتابی‌ای با سرعت ثابت در حال حرکت است.
پ) قایقرانی در حال پارو زدن است.
ت) چتربازی در هوای آرام و در امتداد قائم در حال سقوط است.
ث) هواپیمایی در یک سطح پروازی افقی با سرعت ثابت در حال حرکت است.
ج) توپی در راستای قائم به زمین برخورد می‌کند و برمی‌گردد.

۶. راننده خودرویی که با سرعت ۷۲/۰ km/h در یک مسیر مستقیم در حال حرکت است، با دیدن مانعی اقدام به ترمز می‌کند و خودرو پس از طی مسافت ۲۰/۰ m متوقف می‌شود.
الف) شتاب خودرو در مدت ترمز چقدر است؟
ب) از لحظهٔ ترمز تا توقف کامل خودرو، جقدر طول می‌کشد؟
پ) نیروی اصطکاک بین لاستیک‌ها و سطح چقدر است؟
جرم خودرو را ۱۲۰۰ kg فرض کنید.

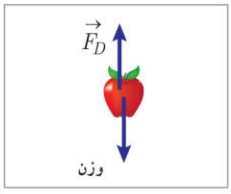
۷. چتربازی از یک بالگرد تقریباً ساکن که در ارتفاع نسبتاً زیادی قرار دارد، به بیرون می‌رود و پس از مدتی چتر خود را باز می‌کند و در امتداد قائم سقوط می‌کند. حرکت چتربار را از لحظهٔ ترش تا رسیدن به زمین تحلیل کنید و نموداری تقریبی از تندی آن بر حسب زمان رسم کنید.

۵۷

۱ الف) وقتی سیب به شاخه آویزان است، نیرویی از طرف شاخه به طرف بالا به سیب وارد می‌شود و نیروی وزن که از طرف زمین به سیب وارد می‌شود به طرف پایین است. در این حالت این دو نیرو هم اندازه بوده و متوازن‌اند. وقتی سیب از درخت جدا می‌شود و در حال سقوط کردن است، نیروی وزن به طرف پایین و نیروی مقاومت هوا به طرف بالا بر سیب وارد می‌شود.



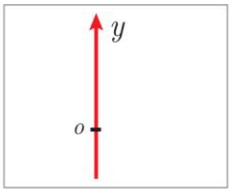
ب) در حالتی که سیب به درخت آویزان است: واکنش نیروی $\vec{F}_{\text{شاخه}}$ نیرویی است که از طرف سیب به شاخه وارد می‌شود و شاخه را به طرف پایین می‌کشد ($\vec{F}'_{\text{شاخه}}$).



واکنش وزن سیب، نیروی گرانشی است که از طرف سیب به زمین وارد شده و آن را به طرف بالا می‌کشد ($\vec{W}'$).

در حالتی که سیب در حال سقوط کردن است:

واکنش نیروی $\vec{f}_D$ نیرویی است که از طرف سیب به هوا به طرف پایین وارد می‌شود ($\vec{f}'_D$). واکنش وزن سیب، نیروی گرانشی است که از طرف سیب به زمین وارد شده و آن را به طرف بالا می‌کشد ($\vec{W}'$).



۲ جهت محور را رو به بالا انتخاب می‌کنیم و نیروهای وارد بر شخص را تعیین و از قانون دوم برای حل مسئله استفاده می‌کنیم.

الف)
$$F_N - W = ma \rightarrow F_N = W + ma = mg + ma$$
$$a = 0$$
$$F_N = mg + 0 = (50/0\,\text{kg})(9/8\,\text{N/kg}) = 490\,\text{N}$$

ب) وقتی آسانسور با سرعت ثابت حرکت می‌کند باز هم شتاب صفر است ($a = 0$)
$$F_N = mg + 0 = (50/0\,\text{kg})(9/80\,\text{N/kg}) = 490\,\text{N}$$

پ)
$$a = +1/2\ \text{m/s}^2$$
$$F_N = mg + ma = (50/0\,\text{kg})(9/80\,\text{N/kg}) + (50/0\,\text{kg})(1/2\,\text{m/s}^2) = 550\,\text{N}$$

ت)
$$a = -1/2\ \text{m/s}^2$$
$$F_N = mg + ma = (50/0\,\text{kg})(9/80\,\text{N/kg}) + (50/0\,\text{kg})(-1/2\,\text{m/s}^2) = 430\,\text{N}$$

۳ الف) در هر دو حالت جسم ساکن است و نیروی اصطکاک ایستایی در خلاف جهت نیروی $\vec{F}$ بر جسم وارد می‌شود.

$$F_۱ = ۲۰۰\,\text{N}\ ,\ a = ۰\ ,\ v = ۰$$

$$F - f_s = ma \rightarrow f_s = F = ۲۰۰\,\text{N}$$

$$F_۲ = ۳۰۰\,\text{N}\ ,\ a = ۰\ ,\ v = ۰$$

$$F_۲ - f_{s\,,\,max} = ma \rightarrow f_{s\,,\,max} = F_۲ = ۳۰۰\,\text{N}$$

ب)

$$f_{s\,,\,max} = \mu_s F_N\ ,\ F_N = mg \rightarrow ۳۰۰\,\text{N} = \mu_s\,(۹۰/۰\,\text{kg}) \times (۹/۸۰\,\text{N/kg})$$

$$\mu_s = \frac{۳۰۰\,N}{(۹۰/۰\,\text{kg})(۹/۸۰\,\text{N/kg})} = ۰/۳۴$$

پ)

$$f_k = \mu_k F_N = \mu_k (mg) = (۰/۲۰)\,(۹۰/۰\,\text{kg})\,(۹/۸۰\ \text{N/kg}) = ۱۷۶/۲\,\text{N}$$

برسش‌ها و مسئله‌های فصل ۲

۲ـ۱ و ۲ـ۲ قوانین حرکت نیوتون و معرفی برخی از نیروهای خاص

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 جداشدن از درخت نشان دهید. ب) در هر حالت واکنش این نیروها بر چه اجسامی وارد می‌شود؟

۲. دانش‌آموزی به جرم ۵۰/۰ kg روی یک ترازوی فنری در آسانسور ایستاده است. در هر یک از حالت‌های زیر این ترازو چند نیوتون را نشان می‌دهد؟ (g=۹/۸۰ N/kg)
الف) آسانسور ساکن است.
ب) آسانسور با سرعت ثابت حرکت می‌کند.
پ) آسانسور با شتاب ۱/۲ m/s² به طرف بالا شروع به حرکت می‌کند.
ت) آسانسور با شتاب ۱/۲ m/s² به طرف پایین شروع به حرکت می‌کند.

۳. در شکل نشان داده شده، شخص با نیروی ۲۰۰ N جسم ۹۰/۰ کیلوگرمی را هل می‌دهد، اما جسم ساکن می‌ماند. ولی وقتی با نیروی ۳۰۰ N جسم را هل می‌دهد، جسم در آستانهٔ حرکت قرار می‌گیرد.
الف) نیروی اصطکاک ایستایی بین جسم و سطح در هر حالت چقدر است؟
ب) ضریب اصطکاک ایستایی بین جسم و سطح چقدر است؟
پ) اگر پس از حرکت، شخص با نیروی ۳۰۰ N جسم را هل دهد و ضریب اصطکاک جنبشی بین سطح و جسم ۰/۲۰ باشد، شتاب حرکت جسم چقدر خواهد شد؟

۴. در شکل روبه‌رو وقتی وزنهٔ ۴/۰ kg را به فنر آویزان می‌کنیم، طول فنر ۱۴/۰ cm می‌شود، و وقتی وزنهٔ ۵/۰ kg را به فنر آویزان می‌کنیم، طول فنر ۱۵/۰ cm می‌شود.
الف) ثابت فنر چقدر است؟ ب) طول عادی فنر (بدون وزنه) چند سانتی‌متر است؟

۵. در هر یک از موارد زیر، نیروهای وارد بر جسم را مشخص کنید. واکنش هر یک از این نیروها به چه جسمی وارد می‌شود؟
الف) خودرویی با سرعت ثابت در یک مسیر مستقیم افقی در حال حرکت است.
ب) کتابی‌ای با سرعت ثابت در حال حرکت است.
پ) قایقرانی در حال پارو زدن است.
ت) چتربازی در هوای آرام و در امتداد قائم در حال سقوط است.
ث) هواپیمایی در یک سطح پروازی افقی با سرعت ثابت در حال حرکت است.
ج) توپی در راستای قائم به زمین برخورد می‌کند و برمی‌گردد.

۶. راننده خودرویی که با سرعت ۷۲/۰ km/h در یک مسیر مستقیم در حال حرکت است، با دیدن مانعی اقدام به ترمز می‌کند و خودرو پس از طی مسافت ۲۰/۰ m متوقف می‌شود.
الف) شتاب خودرو در مدت ترمز چقدر است؟
ب) از لحظهٔ ترمز تا توقف کامل خودرو، چقدر طول می‌کشد؟
پ) نیروی اصطکاک بین لاستیک‌ها و سطح چقدر است؟
جرم خودرو را ۱۲۰۰ kg فرض کنید.

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

۵۷

جهت محور افقی را به طرف راست انتخاب می‌کنیم :

۴

$$F - f_k = ma \rightarrow a = \frac{F - f_k}{m} = \frac{۲۰۰\,\text{N} - ۱۷۶/۲\,\text{N}}{۹۰/۰\,\text{kg}} = ۰/۲۶\ \text{m/s}^۲$$

$$F_e - mg = ma\ ,\ a = ۰ \Rightarrow F_e = mg$$

$$F_e = kx\ ,\ x = l_۲ - l_۱ \Rightarrow k\,(l - l_۰) = mg$$

الف)

$$k\,(۱۴/۰ \times ۱۰^{-۲}\,m - l_۰) = (۴/۰\,\text{kg})(۹/۸۰\,\text{N/kg})$$

$$k\,(۱۵/۰ \times ۱۰^{-۲}\,m - l_۰) = (۵/۰\,\text{kg})(۹/۸۰\,\text{N/kg})$$

$$k\,(۱۵/۰ \times ۱۰^{-۲}\,m - ۱۴/۰ \times ۱۰^{-۲}\,m) = ۹/۸۰\,\text{N} \rightarrow k = ۹۸۰\,\text{N/m}$$

ب) مقدار به‌دست آمده را در یکی از روابط بالا قرار می‌دهیم :

$$(۹۸۰\,\text{N/m})\,(۱۴/۰ \times ۱۰^{-۲} - l_۰) = (۴/۰\,\text{kg})\,(۹/۸۰\,\text{N/kg})$$

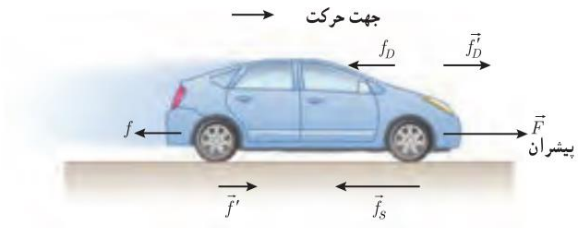
$$l_۰ = ۱۰/۰ \times ۱۰^{-۲}\,m = ۱۰/۰\ \text{cm}$$

۵ الف) فرض می‌کنیم خودرو گیربکس جلو بوده، یعنی انتقال قدرت موتور به چرخ‌های جلو صورت می‌گیرد؛ در این صورت چرخ‌های جلو هنگام شروع به حرکت و در طول حرکت می‌خواهند روی زمین بچرخند. در نتیجه زمین را به طرف عقب هل می‌دهند (به علت برهم کنش بین لاستیک و سطح زمین نیروی اصطکاک ایستایی بین آنها به‌وجود می‌آید؛ $\vec{f}_s$)زمین نیز چرخ‌ها را به جلو هُل می‌دهد که به این نیرو، نیروی پیشران می‌گویند ($\vec{F}_{\text{پیشران}}$).

وقتی خودرو شروع به حرکت می‌کند نیروی مقاومت هوا به خودرو نیرویی در خلاف جهت حرکت نیروی $\vec{f}_s$ وارد می‌کند. خودرو نیز نیروی $\vec{f}'_D$ را به هوا و در خلاف جهت $\vec{f}_D$ وارد می‌کند. به لاستیک‌های عقب خودرو که به تبع حرکت خودرو می‌چرخند، نیروی اصطکاک در

برخلاف جهت حرکت خودرو از طرف زمین وارد می‌شود ($\vec{f}$). لاستیک‌ها نیز نیرویی در خلاف جهت $\vec{f}$ به زمین وارد می‌کنند ($\vec{f'}$).

از طرف سطح زمین نیروی عمودی سطح $\vec{F_N}$ روبه بالا بر خودرو وارد می‌شود که واکنش آن از طرف خودرو به طرف پایین به سطح زمین وارد می‌شود. همچنین وزن خودرو از طرف زمین بر آن به طرف مرکز زمین وارد می‌شود ($\vec{W}$) و واکنش وزن از طرف خودرو به زمین رو به بالا وارد می‌شود ($\vec{W'}$).

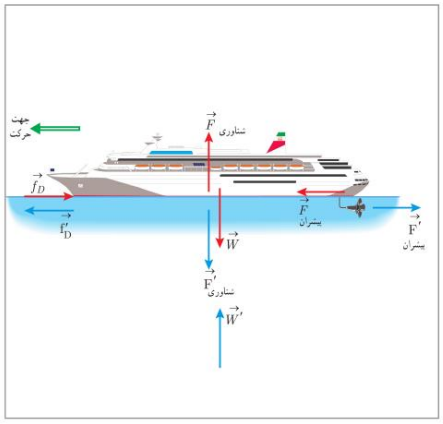


ب) $\vec{f_D}$:نیروی مقاومت شاره (آب) در خلاف جهت حرکت از طرف شاره بر کشتی وارد می‌شود.

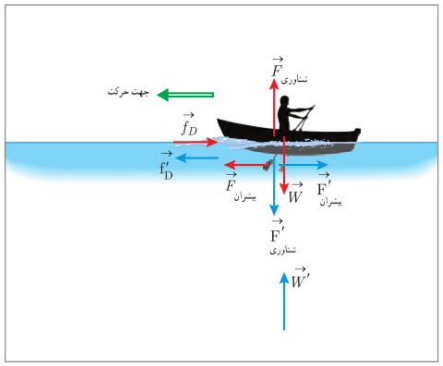
$\vec{F}_{\text{شناوری}}$: نیروی شناوری که از طرف شاره (آب) به طرف بالا بر کشتی وارد می‌شود.

$\vec{W}$: نیروی وزن که از طرف زمین به جسم به طرف پایین وارد می‌شود.

$\vec{F}_{\text{پیشران}}$: نیرویی که از طرف شاره به کشتی به طرف جلو وارد می‌شود. این نیرو به علت مثلاً چرخش پروانه‌ها و هُل دادن آب به طرف عقب حاصل می‌شود یعنی وقتی موتور کشتی سبب چرخش پره‌ها می‌شود، در چرخش پره‌ها، آب دریا به طرف عقب هُل داده می‌شود و آب نیز پره‌ها را به طرف جلو هُل می‌دهد که به این نیرو، نیروی پیشران می‌گوییم. واکنش این نیروها در شکل مشخص شده است. ضمناً از نیروی مقاومت هوا می‌توانیم صرف‌نظر کنیم.



پ) قایقران با پارو آب را به طرف عقب هُل می‌دهد، آب نیز به پارو نیرویی رو به جلو وارد می‌کند که می‌توانیم نام آن را نیروی پیشران ($F_{\text{پیشران}}$) بگذاریم. نیروی وزن، شناوری و نیروی مقاومت شاره نیروهای دیگری هستند که به قایق وارد می‌شوند. این نیروها و واکنش آنها روی شکل نشان داده شده است.



پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۲

۳۷ و ۳۸ قوانین حرکت نیوتون و جزئی از نیروهای خاص

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 جداشدن از درخت نشان دهید. ب) در هر حالت واکنش این نیروها بر چه اجسامی وارد می‌شود؟

۲. دانش‌آموزی به جرم ۵۰/۰ kg روی یک ترازوی فنری در آسانسور ایستاده است. در هر یک از حالت‌های زیر این ترازو چند نیوتون را نشان می‌دهد؟ ($g=9/8\ N/kg$)
الف) آسانسور ساکن است.
ب) آسانسور با سرعت ثابت حرکت می‌کند.
پ) آسانسور با شتاب $1/2\ m/s^2$ به طرف بالا شروع به حرکت می‌کند.
ت) آسانسور با شتاب $1/2\ m/s^2$ به طرف پایین شروع به حرکت می‌کند.

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

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

۴. در شکل روبه‌رو وقتی وزنهٔ ۲/۰ kg را به فنر آویزان می‌کنیم، طول فنر ۱۴/۰ cm می‌شود، و وقتی وزنهٔ ۵/۰ kg را به فنر آویزان می‌کنیم، طول فنر ۱۵/۰ cm می‌شود.

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

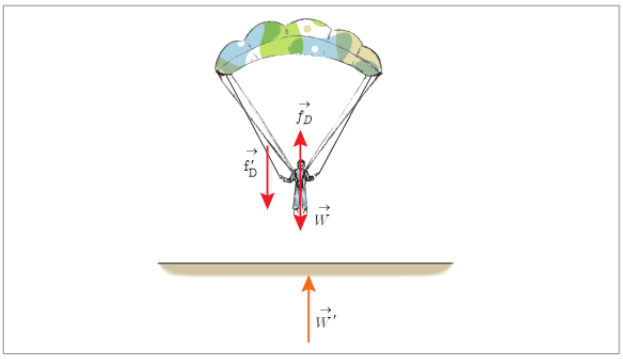
۵. در هر یک از موارد زیر، نیروهای وارد بر جسم را مشخص کنید. واکنش هر یک از این نیروها به چه جسمی وارد می‌شود؟
الف) خودرویی با سرعت ثابت در یک مسیر مستقیم افقی در حال حرکت است.
ب) کشتی‌ای با سرعت ثابت در حال حرکت است.
پ) قایقرانی در حال پارو زدن است.
ت) جت‌بازی در هوای آرام و در امتداد قائم در حال سقوط است.
ث) هواپیمایی در یک سطح پروازی افقی با سرعت ثابت در حال حرکت است.
ج) توپی در راستای قائم به زمین برخورد می‌کند و برمی‌گردد.

۶. راننده خودرویی که با سرعت ۷۲/۰ km/h در یک مسیر مستقیم در حال حرکت است، با دیدن مانعی اقدام به ترمز می‌کند و خودرو پس از طی مسافت ۲۰/۰ m متوقف می‌شود.
الف) شتاب خودرو در مدت ترمز چقدر است؟
ب) از لحظهٔ ترمز تا توقف کامل خودرو، چقدر طول می‌کشد؟
پ) نیروی اصطکاک بین لاستیک‌ها و سطح چقدر است؟
جرم خودرو را ۱۲۰۰ kg فرض کنید.

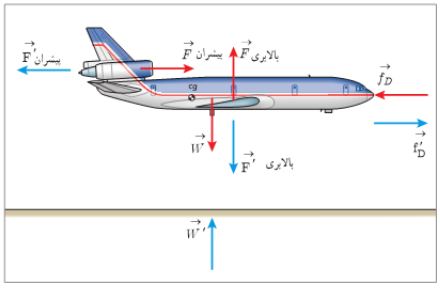
۷. جت‌بازی از یک بالگرد تقریباً ساکن که در ارتفاع نسبتاً زیادی قرار دارد، به بیرون می‌پرد و پس از مدتی چتر خود را باز می‌کند و در امتداد قائم سقوط می‌کند. حرکت جت‌باز را از لحظهٔ پرش تا رسیدن به زمین تحلیل کنید و نمودارهای تقریبی از تندی آن بر حسب زمان رسم کنید.

کانال تلگرام و اینستاگرام
گروه آموزشی مهندس علی عاقلی
Physics_Agheli

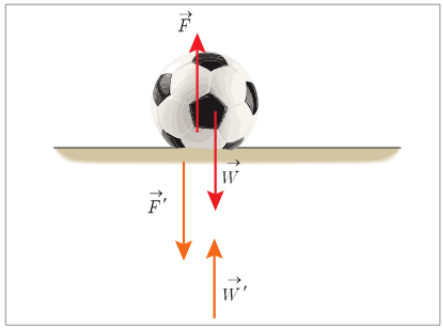
ت) بر چترباز (شخص و چتر) دو نیروی وزن و مقاومت هوا وارد می‌شود که روی شکل این نیروها و واکنش آنها رسم شده است.



ث) علاوه بر وزن و مقاومت هوا، دو نیروی دیگر نیز بر هواپیما وارد می‌شود. نیروی بالابری ($\vec{F}_{\text{بالابری}}$) که به علت اختلاف فشار لایه هوایی زیر بال و بالای بال به‌وجود می‌آید و نیروی پیشران وقتی موتور هواپیما روشن بوده و کار می‌کند، مخلوط سوخت و هوا با شدت زیادی به طرف عقب هُل داده می‌شود (رانده می‌شود) و در نتیجه این مخلوط نیز به هواپیما به طرف جلو نیرو وارد می‌کند که به آن نیروی پیشران هواپیما گویند و با $\vec{F}_{\text{پیشران}}$ نشان می‌دهند. در مورد هواپیماهای ملخی هوا به عقب هُل داده می‌شود و نیروی واکنش مربوط به هوای هل داده شده سبب حرکت هواپیما به سمت جلو می‌شود. این نیروها و واکنش آنها روی شکل نشان داده شده است.



ج) هنگام برخورد توپ با زمین، بر توپ دو نیروی وزن و نیروی زمین وارد می‌شود. این نیروها و واکنش آنها روی شکل نشان داده شده است.



۶

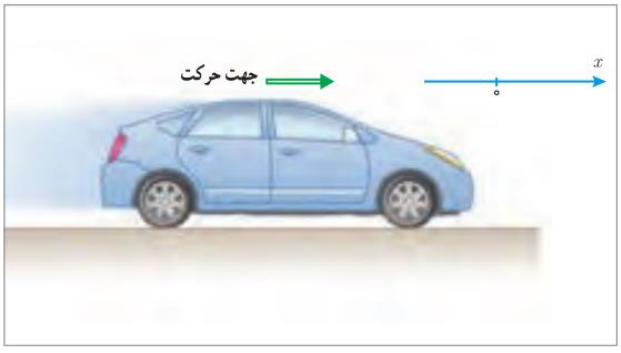
الف) $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x \rightarrow a = \dfrac{v^2 - v_0^2}{2\Delta x} = \dfrac{0 - (20/0\,\text{m/s})^2}{2(20/0\,\text{m})} = -10/0\,\text{m/s}^2$

ب) $\Delta x = \dfrac{v + v_0}{2} t \rightarrow t = \dfrac{v + v_0}{2\Delta x} = \dfrac{0 + (20/0\,\text{m/s})}{2(20/0\,\text{m})} = 0/50\,\text{s}$

پ) جرم خودرو را ۱۲۰۰kg درنظر می‌گیریم. پس از ترمز در راستای افقی، فقط نیروی اصطکاک در خلاف جهت حرکت بر خودرو وارد می‌شود. بنابراین قانون دوم را در این راستا می‌نویسیم :

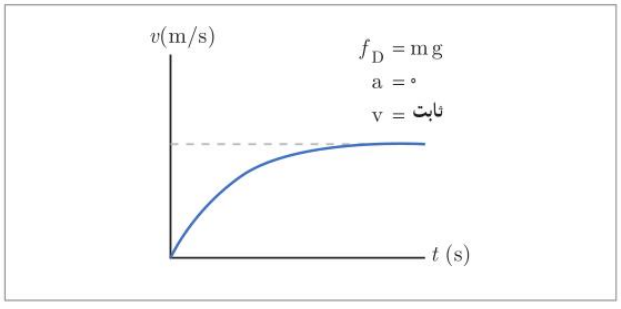
$$\circ - f_{\text{اصطکاک}} = ma \rightarrow \circ - f_{\text{اصطکاک}} = (۱۲۰۰\,\text{kg})\,(-۱۰/۰\,\text{m/s}^۲)$$

$$f_{\text{اصطکاک}} = ۱/۲۰ \times ۱۰^۴\,\text{N}$$



۷ حرکت چترباز را در سه حالت بحث می‌کنیم. در همهٔ حالت‌ها فرض می‌کنیم چترباز روی مسیر مستقیم حرکت می‌کند و اثر باد و عوامل دیگر را درنظر نمی‌گیریم.

الف) چترباز بلافاصله پس از پرش، چتر خود را باز می‌کند. در این حالت نیروی مقاومت هوا در ابتدا ناچیز است. با افزایش تندی چتر باز این نیرو افزایش پیدا می‌کند تا اینکه اندازهٔ این نیرو با اندازهٔ وزن برابر شود. در این حالت شتاب چترباز صفر شده و چترباز با تندی حدی به حرکت خود ادامه می‌دهد تا به زمین برسد.



پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۲

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

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 جداشدن از درخت نشان دهید. ب) در هر حالت واکنش این نیروها و چه اجسامی وارد می‌شود؟

۲. دانش‌آموزی به جرم ۵۰/۰ kg روی یک ترازوی فنری در آسانسور ایستاده است. در هر یک از حالت‌های زیر این ترازو چند نیوتون را نشان می‌دهد؟ (g=۹/۸۰ N/kg)
الف) آسانسور ساکن است.
ب) آسانسور با سرعت ثابت حرکت می‌کند.
پ) آسانسور با شتاب ۱/۲m/s² به طرف بالا شروع به حرکت می‌کند.
ت) آسانسور با شتاب ۱/۲m/s² به طرف پایین شروع به حرکت می‌کند.

۳. در شکل نشان داده شده، شخص با نیروی ۲۰۰N جسم ۹۰/۰ کیلوگرمی را هُل می‌دهد، اما جسم ساکن می‌ماند. ولی وقتی با نیروی ۲۰۰N جسم را هُل می‌دهد، جسم در آستانهٔ حرکت قرار می‌گیرد.

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

۴. در شکل روبه‌رو وقتی وزنهٔ ۲/۰ kg را به فنر آویزان می‌کنیم، طول فنر ۱۴/۰ cm می‌شود، و وقتی وزنهٔ ۵/۰ kg را به فنر آویزان می‌کنیم، طول فنر ۱۵/۰ cm می‌شود.
الف) ثابت فنر چقدر است؟ ب) طول عادی فنر (بدون وزنه) چند سانتی‌متر است؟

۵. در هر یک از موارد زیر، نیروهای وارد بر جسم را مشخص کنید. واکنش هر یک از این نیروها به چه جسمی وارد می‌شود؟
الف) خودرویی با سرعت ثابت در یک مسیر مستقیم افقی در حال حرکت است.
ب) کشتی‌ای با سرعت ثابت در حال حرکت است.
پ) قایقرانی در حال پارو زدن است.
ت) چتربازی در هوای آرام و در امتداد قائم در حال سقوط است.
ث) هواپیمایی در یک سطح پروازی افقی با سرعت ثابت در حال حرکت است.
چ) توپی در راستای قائم به زمین برخورد می‌کند و برمی‌گردد.

۶. راننده خودرویی که با سرعت ۷۲/۰ km/h در یک مسیر مستقیم در حال حرکت است، با دیدن مانعی اقدام به ترمز می‌کند و خودرو پس از طی مسافت ۴۰/۰ m متوقف می‌شود.
الف) شتاب خودرو در مدت ترمز چقدر است؟
ب) از لحظهٔ ترمز تا توقف کامل خودرو، چقدر طول می‌کشد؟
پ) نیروی اصطکاک بین لاستیک‌ها و سطح چقدر است؟
جرم خودرو را ۱۲۰۰ kg فرض کنید.

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

فیزیک ۳

۸. 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 F_2 که جعبه را به زمین می‌فشارد از صفر شروع به افزایش کند، کمیت‌های زیر چگونه تغییر می‌کنند؟

الف) اندازهٔ نیروی عمودی سطح وارد بر جعبه
ب) اندازهٔ نیروی اصطکاک ایستایی وارد بر جعبه
پ) اندازهٔ بیشینهٔ نیروی اصطکاک ایستایی
ت) نیروی خالص وارد بر جسم

۹. می‌خواهیم به جسمی که جرم آن ۵/۰kg است، شتاب ۲/۰ m/s² بدهیم. در هر یک از حالت‌های زیر، نیروی را که باید به جسم وارد کنیم محاسبه کنید. از مقاومت هوا صرف‌نظر می‌شود.
الف) جسم روی سطح افقی بدون اصطکاک حرکت کند.
ب) جسم روی سطح افقی با ضریب اصطکاک ۰/۲۰ به طرف راست حرکت کند، و نشانی نیز به طرف راست باشد.
پ) جسم در راستای قائم با شتاب رو به بالا شروع به حرکت کند.
ت) جسم در راستای قائم با شتاب رو به پایین شروع به حرکت کند.

۱۰. قطعه‌چوبی را با سرعت افقی ۱۰/۰ m/s روی سطحی افقی برتاب می‌کنیم. ضریب اصطکاک جنبشی بین چوب و سطح ۰/۲۰ است.
الف) چوب پس از پیمودن چه مسافتی می‌ایستد؟
ب) اگر از یک قطعه‌چوب دیگر استفاده کنیم که جرم آن دو برابر جرم قطعه‌چوب اول و ضریب اصطکاک جنبشی آن با سطح افقی با اولی یکسان باشد و با همان سرعت برتاب شود، مسافت پیموده شدهٔ آن چند برابر می‌شود؟

۱۱. وزنه‌ای به جرم ۲/۰ kg را به انتهای فنری به طول ۱۲cm که ثابت آن ۲۰N/cm است می‌بندیم و فنر را از سقف یک آسانسور آویزان می‌کنیم. طول فنر را در حالت‌های زیر محاسبه کنید.
الف) آسانسور ساکن است.
ب) آسانسور با سرعت ثابت ۲/۰m/s رو به پایین در حرکت است.
پ) آسانسور با شتاب ثابت ۲/۰m/s² از حال سکون رو به پایین شروع به حرکت کند.
ت) آسانسور با شتاب ثابت ۲/۰m/s² از حال سکون رو به بالا شروع به حرکت کند.

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

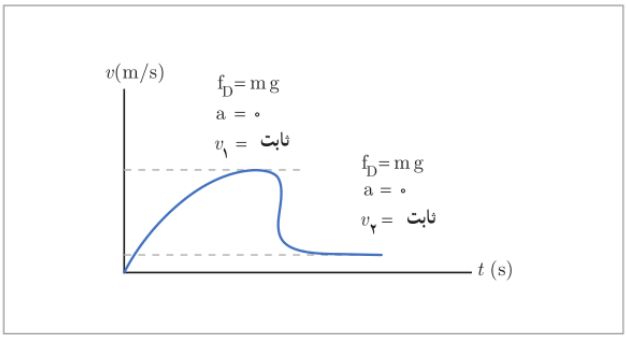
کل مسافت توقف = مسافت ترمز + مسافت واکنش

الف) دو عامل مؤثر در مسافت واکنش را بنویسید.
ب) زمان واکنش راننده‌ای ۰/۶۰ است. در طی این زمان، خودرو مسافت ۱۸m را طی می‌کند. با فرض ثابت بودن سرعت در این مدت، اندازهٔ آن را حساب کنید.
پ) اگر در این سرعت راننده ترمز کند و خودرو پس از ۵/۰s متوقف شود، مسافت ترمز و شتاب خودرو را حساب کنید.
ت) وقتی خودرو ترمز می‌کند، نیروی خالص وارد بر آن چقدر است؟ جرم خودرو را ۱۵۰۰ kg فرض کنید.

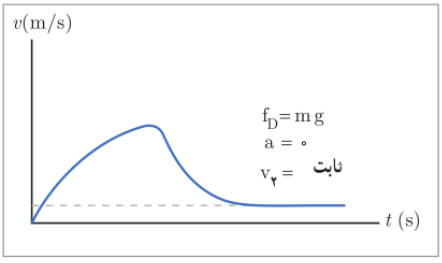
۱۳. یک خودروی باری با طناب افقی محکمی، یک خودروی سواری به جرم ۱۵۰۰kg را می‌کشد. نیروی اصطکاک و مقاومت هوا در مقابل حرکت خودروی سواری ۲۲۰N و

Physics_Agheli
کانال تلگرام و اینستا گرام
گروه آموزشی مهندس علی عاقلی

ب) چترباز مدتی پس از پرش، چترش را باز می‌کند. در این حالت تندی چترباز زیاد و زیادتر می‌شود و نیروی مقاومت هوا در تندی‌های خیلی زیاد با وزن هم‌اندازه می‌شود (تندی حدی اولیه). پس از باز کردن چتر، ناگهان نیروی مقاومت هوا به علت افزایش مساحت در آن تندی زیاد به شدت زیاد می‌شود و حرکت چترباز کُند خواهد شد و نیروی مقاومت هوا آن قدر کاهش پیدا می‌کند تا با وزن هم‌اندازه شود، در این حالت به تندی حدی ثانویه می‌رسد.



اگر چترباز قبل از رسیدن به تندی حدی اولیه چترش را باز کند، نمودار به‌صورت شکل روبه‌رو خواهد شد.



۸ نیروهای وارد بر جسم متوازن‌اند. بنابراین $a = ۰$ است و داریم :

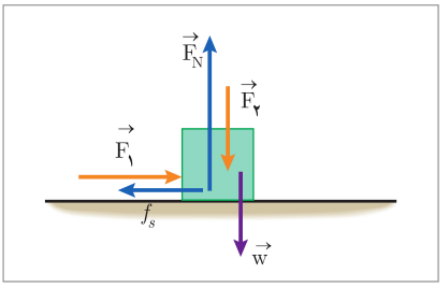
$F_N = W + F_۲ \;,\; F_۱ = f_s$

الف) افزایش می‌یابد ($\Uparrow F_N = \uparrow F_۲ + W$)

ب) ثابت می‌ماند (ثابت $= f_s = F_۱$)

پ) افزایش می‌یابد ($\Uparrow f_{s,max} = \mu_s F_N = \mu_s (\uparrow F_۲ + W)$)

ت) ثابت می‌ماند (نیروی خالص در همهٔ حالت‌ها صفر باقی می‌ماند)



۹

الف) $F - \cancel{f_k}^{\circ} = ma \rightarrow F = ma = (۵/۰\,\text{kg})(۲/۰\,\text{m/s}^۲) = ۱۰\,\text{N}$

ب) $F_N = mg = (۵/۰\,\text{kg})\,(۹/۸۰\,\text{N/kg}) = ۴۹\,\text{N}$

$f_k = \mu_k F_N = (۰/۲۰)\,(۴۹\,\text{N}) = ۹/۸\,\text{N}$

فیزیک ۳

۸. 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 F_2 که جعبه را به زمین می‌فشارد از صفر شروع به افزایش کند، کمیت‌های زیر چگونه تغییر می‌کنند؟

الف) اندازهٔ نیروی عمودی سطح وارد بر جعبه
ب) اندازهٔ نیروی اصطکاک ایستایی وارد بر جعبه
پ) اندازهٔ بیشینهٔ نیروی اصطکاک ایستایی
ت) نیروی خالص وارد بر جسم

۹. می‌خواهیم به جسمی که جرم آن ۵/۰kg است، شتاب ۲/۰ m/s^2 بدهیم. در هر یک از حالت‌های زیر، نیرویی را که باید به جسم وارد کنیم محاسبه کنید. از مقاومت هوا صرف‌نظر می‌شود.

الف) جسم روی سطح افقی بدون اصطکاک حرکت کند.
ب) جسم روی سطح افقی با ضریب اصطکاک ۰/۲۰ به طرف راست حرکت کند، و نشانی نیز به طرف راست باشد.
پ) جسم در راستای قائم با شتاب رو به بالا شروع به حرکت کند.
ت) جسم در راستای قائم با شتاب رو به پایین شروع به حرکت کند.

۱۰. قطعه‌جوبی را با سرعت اقفی ۱۰/۰m/s روی سطحی افقی برتاب می‌کنیم. ضریب اصطکاک جنبشی بین چوب و سطح ۰/۲۰ است.

الف) چوب پس از پیمودن چه مسافتی می‌ایستد؟
ب) اگر از یک قطعه‌چوب دیگر استفاده کنیم که جرم آن دو برابر جرم قطعه‌چوب اول و ضریب اصطکاک جنبشی آن با سطح افقی با اولی یکسان باشد و با همان سرعت برتاب شود، مسافت پیموده شده آن چند برابر می‌شود؟

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

الف) آسانسور ساکن است.
ب) آسانسور با سرعت ثابت ۲/۰m/s رو به پایین در حرکت است.
پ) آسانسور با شتاب ثابت ۲/۰m/s^2 رو به پایین شروع به حرکت کند.
ت) آسانسور با شتاب ثابت ۲/۰m/s^2 از حال سکون رو به بالا شروع به حرکت کند.

۱۲. برای یک راننده دانستن کل مسافت توقف خودرو اهمیت دارد. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد کل مسافت توقف، دو قسمت دارد: مسافت واکنش (مسافتی که خودرو از لحظهٔ دیدن مانع تا زمرگرفتن طی می‌کند) و مسافت ترمز (مسافتی که خودرو از لحظهٔ ترمرگرفتن تا توقف کامل طی می‌کند).

کل مسافت توقف = مسافت ترمز + مسافت واکنش

الف) دو عامل مؤثر در مسافت واکنش را بنویسید.
ب) زمان واکنش راننده‌ای ۰/۶۰s است. در طی این زمان، خودرو مسافت ۱۸m را طی می‌کند. با فرض ثابت بودن سرعت در این مدت، اندازهٔ آن را حساب کنید.
پ) اگر در این سرعت راننده ترمز کند و خودرو پس از ۵/۰s متوقف شود، مسافت ترمز و شتاب خودرو را حساب کنید.
ت) وقتی خودرو ترمز می‌کند، نیروی خالص وارد بر آن چقدر است؟ جرم خودرو را ۱۵۰kg فرض کنید.

۱۳. یک خودروی باری با طناب افقی محکمی، یک خودروی سواری به جرم ۱۵۰kg را می‌کشد. نیروی اصطکاک و مقاومت هوا در مقابل حرکت خودروی سواری ۲۲۰N و

$F - f_k = ma \rightarrow F = f_k + ma = (۹/۸N) + (۵/۰kg)(۲/۰m/s^۲) = ۱۹/۸N$

پ)

$F - mg = ma \rightarrow F = mg + ma = m(g + a) = (۵/۰kg)(۹/۸۰ m/s^۲ + ۲/۰ m/s^۲) = ۵۹N$

ت)

$F - mg = ma \,,\, a = -۲/۰m/s^۲$

$F = m(g + a) = (۵/۰kg)(۹/۸۰m/s^۲ + (-۲/۰m/s^۲)) = ۳۹N$

خوب است پس از حل این مسئله، از دانش‌آموزان بخواهیم که بگویند از حل آن چه نتیجه‌ای گرفتند؟

۱۰

الف) نیروها در راستای قائم متوازن‌اند :

$F_N - mg = ۰ \rightarrow F_N = mg$

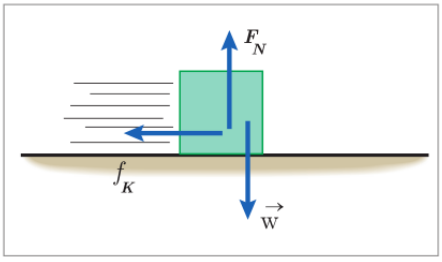
قانون دوم را در راستای حرکت به‌کار می‌بریم :

$۰ - f_k = ma \rightarrow -\mu_k F_N = ma \rightarrow -\mu_k mg = ma \rightarrow a = -\mu_k g$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، شتاب حرکت مستقل از جرم است.

$a = ۰/۲۰ (۹/۸۰ m/s^۲) = -۱/۹۶m/s^۲$

$v^۲ - v_۰^۲ = ۲a\Delta x \rightarrow \Delta x = \frac{v^۲ - v_۰^۲}{۲a} = \frac{۰ - v_۰^۲}{-۲\mu_k g} = \frac{v_۰^۲}{۲\mu_k g}$



همان‌طور که ملاحظه می‌شود مسافت طی شده نیز مستقل از جرم است.

$\Delta x = \frac{(۱۰/۰m/s)^۲}{۲(۰/۲۰)(۹/۸۰m/s^۲)} = ۲۵/۵m$

ب) همان‌طور که در قسمت الف گفته شد، شتاب و جابه‌جایی مستقل از جرم هستند.

۱۱

الف و ب) برای سادگی g را ۱۰$m/s^۲$ فرض می‌کنیم.

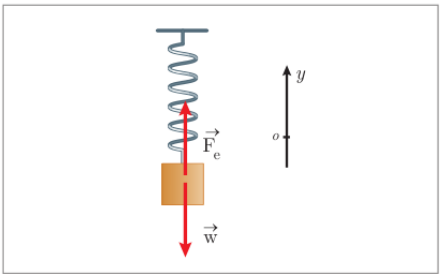
$F_e - W = ma \,,\, a = ۰$

$F_e = W \rightarrow k(l - l_۰) = mg$

$(۲۰ \times ۱۰^۲ N/m)(l - ۱۲ \times ۱۰^{-۲}m) = (۲/۰ kg)(۱۰ m/s^۲)$

$l - ۱۲ \times ۱۰^{-۲}m = ۱/۰ \times ۱۰^{-۲}m \rightarrow l = ۱۳ \times ۱۰^{-۲}m$

$l = ۱۳cm$



پ)

$$a = -۲/۰\,\mathrm{m/s^۲}$$

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

$$k(l - l_۰) = m(g+a) \rightarrow (۲۰۰\times۱۰^{۲}\mathrm{N/m})(l - ۱۲\times۱۰^{-۲}\mathrm{m}) = (۲/۰\,\mathrm{kg})(۱۰\,\mathrm{m/s^۲} - ۲/۰\,\mathrm{m/s^۲})$$

$$l - ۱۲\times۱۰^{-۲}\,\mathrm{m} = \frac{۱۶\mathrm{N}}{۲۰\times۱۰^{۲}\,\mathrm{N/m}} = ۰/۸۰\times۱۰^{-۲}\,\mathrm{m}$$

$$l = ۱۲/۸\times۱۰^{-۲}\mathrm{m} = ۱۲/۸\,\mathrm{cm}$$

ت)

$$a = +۲/۰\,\mathrm{m/s^۲}$$

$$F_e = m(g+a) \rightarrow k(l - ۱۲\times۱۰^{-۲}\mathrm{m}) = (۲/۰\,\mathrm{kg})(۱۰\,\mathrm{m/s^۲} + ۲/۰\,\mathrm{m/s^۲})$$

$$l - ۱۲\times۱۰^{-۲}\,\mathrm{m} = \frac{۲۴\mathrm{N}}{۲۰\times۱۰^{۲}\,\mathrm{N/m}} \rightarrow l = ۱۳/۲\times۱۰^{-۲}\mathrm{m} = ۱۳/۲\mathrm{cm}$$

۸. در شکل زیر، نیروی F به بزرگی ۲۰/۰N بر جعبه وارد شده است، اما جعبه همچنان ساکن است. اگر در همین حالت بزرگی نیروی قائم $\vec{F}_N$ که جعبه را به زمین می‌فشارد از صفر شروع به افزایش کند، کمیت‌های زیر چگونه تغییر می‌کنند؟

الف) اندازهٔ نیروی عمودی سطح وارد بر جعبه
ب) اندازهٔ نیروی اصطکاک ایستایی وارد بر جعبه
پ) اندازهٔ بیشینهٔ نیروی اصطکاک ایستایی
ت) نیروی خالص وارد بر جسم

۹. می‌خواهیم به جسمی که جرم آن ۵/۰kg است، شتاب ۲/۰m/s² بدهیم. در هر یک از حالت‌های زیر، نیرویی را که باید به جسم وارد کنیم محاسبه کنید. از مقاومت هوا صرف‌نظر می‌شود.
الف) جسم روی سطح افقی بدون اصطکاک حرکت کند.
ب) جسم روی سطح افقی با ضریب اصطکاک ۰/۴۰ به طرف راست حرکت کند، و شتابش نیز به طرف راست باشد.
پ) جسم در راستای قائم با شتاب رو به بالا شروع به حرکت کند.
ت) جسم در راستای قائم با شتاب رو به پایین شروع به حرکت کند.

۱۰. **قطه‌جوی** را با سرعت افقی ۱۰/۰m/s روی سطحی افقی پرتاب می‌کنیم. ضریب اصطکاک جنبشی بین چوب و سطح ۰/۲۰ است.
الف) چوب پس از پیمودن چه مسافتی می‌ایستد؟
ب) اگر از یک **قطه‌چوب** دیگر استفاده کنیم که جرم آن دو برابر جرم **قطه‌چوب** اول و ضریب اصطکاک جنبشی آن با سطح افقی با اولی یکسان باشد و با همان سرعت پرتاب شود، مسافت پیموده شدهٔ آن چند برابر می‌شود؟

۱۱. وزنه‌ای به جرم ۲/۰kg را به انتهای فنری به طول ۱۲cm که ثابت آن ۲۰N/cm است می‌بندیم و فنر را از سقف یک آسانسور آویزان می‌کنیم. طول فنر را در حالت‌های زیر محاسبه کنید.
الف) آسانسور ساکن است.
ب) آسانسور با سرعت ثابت ۲/۰m/s رو به پایین در حرکت است.
پ) آسانسور با شتاب ثابت ۲/۰m/s² از حال سکون رو به پایین شروع به حرکت کند.
ت) آسانسور با شتاب ثابت ۲/۰m/s² از حال سکون رو به بالا شروع به حرکت کند.

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

کل مسافت توقف = مسافت ترمز + مسافت واکنش

الف) دو عامل مؤثر در مسافت واکنش را بنویسید.
ب) زمان واکنش راننده‌ای ۰/۶۰s است. در طی این زمان، خودرو مسافت ۱۸m را طی می‌کند. با فرض ثابت بودن سرعت در این مدت، اندازهٔ آن را حساب کنید.
پ) اگر در این سرعت راننده ترمز کند و خودرو پس از ۵/۰s متوقف شود، مسافت ترمز و شتاب خودرو را حساب کنید.
ت) وقتی خودرو ترمز می‌کند، نیروی خالص وارد بر آن چقدر است؟ جرم خودرو را ۱۵۰۰kg فرض کنید.

۱۳. 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

۵۸

ب)

$$\Delta x = v\Delta t \rightarrow v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۱۸\,\mathrm{m}}{۰/۶۰\,\mathrm{s}} = ۳۰\,\mathrm{m/s} = ۱۰۸\mathrm{km/h}$$

پ)

$$\Delta x = \left(\frac{v + v_۰}{۲}\right)\Delta t = \left(\frac{۰ + ۳۰\,\mathrm{m/s}}{۲}\right)(۵/۰\,\mathrm{s}) = ۷۵\,\mathrm{m}$$

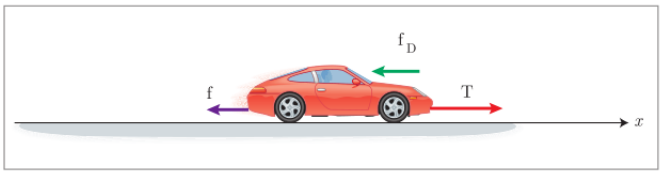
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_۰}{\Delta t} = \frac{۰ - ۳۰\,\mathrm{m/s}}{۵/۰\,\mathrm{s}} = -۶/۰\,\mathrm{m/s^۲}$$

ت)

$$\text{نیروی خالص} = F_{net} = ma = (۱۵۰۰\,\mathrm{kg})(-۶/۰\,\mathrm{m/s^۲}) = -۹/۰\times۱۰^{۳}\mathrm{N}$$

علامت منفی نشان می‌دهد جهت نیروی خالص در خلاف جهت حرکت خودرو است.

۱۳



الف)

$$T - (f + f_D) = ma\,,\ a = ۰$$

$$T = f + f_D = ۲۲۰\mathrm{N} + ۳۸۰\mathrm{N} = ۶۰۰\mathrm{N}$$

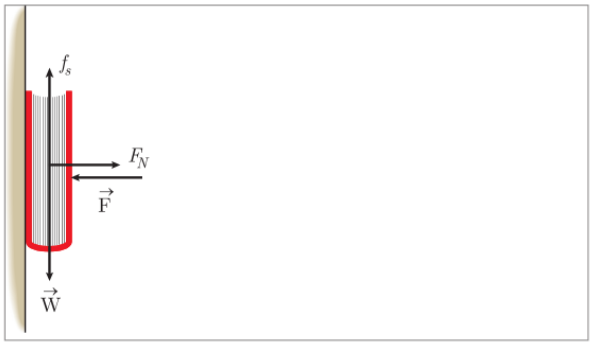
ب)

$$T - (f + f_D) = ma \rightarrow T - ۶۰۰\mathrm{N} = (۱۵۰۰\,\mathrm{kg})(۲/۰\,\mathrm{m/s^۲})$$

$$T = ۳۶۰۰\mathrm{N}$$

۱۴

الف)



ب)

$$f_s - W = ma \ , \ a = 0$$

$$f_s = W = mg = (2/5\text{kg})\ (9/8\circ \text{m/s}^2) = 24/5\text{N}$$

پ) خیر تغییر نمی‌کند زیرا f_s هم‌اندازه با وزن است. بنابراین با افزایش F فقط F_N زیاد می‌شود زیرا $F_N = F$ است.

۱۵ الف) علت این پدیده‌ها، ویژگی لختی است. یعنی در حالت اول که خودرو شروع به حرکت می‌کند، شما تمایل دارید همچنان حالت سکون خود را حفظ کنید و به همین علت به صندلی فشرده می‌شوید. در حالت دوم شما تمایل دارید همچنان به حرکت خود ادامه دهید و به همین علت به جلو پرتاب می‌شوید.

ب) کمربند ایمنی دو نقش دارد؛ اول آنکه از پرت شدن شما (جدا شدن از صندلی) به جلو، جلوگیری می‌کند. دوم آنکه زمان برخورد را (حدود ۱۰ برابر) افزایش می‌دهد. کیسه هوا نیز دو نقش دارد؛ اول آنکه زمان برخورد شما را افزایش می‌دهد (حدود ۱۰ برابر) و دوم آنکه سطح برخورد شما را با جلوی خودرو زیاد می‌کند (به مساحت حدود $0/5\text{m}^2$ می‌رساند).

با توجه به رابطهٔ $F_{av} = \dfrac{\Delta p}{\Delta t}$ اگر Δt افزایش پیدا کند، نیروی وارد بر سرنشین کاهش پیدا می‌کند. مثلاً اگر کمربند ایمنی و کیسهٔ هوا سبب افزایش ۲۰ برابری زمان برخورد شوند، نیروی وارد بر سرنشین، ۲۰ برابر کاهش پیدا می‌کند و این سبب کاهش شدید آسیب به سرنشین می‌شود. (البته این افزایش زمان در کنار افزایش مساحت برخورد جراحت‌های ناشی از برخورد را کاهش می‌دهد)

۱۶

الف)

$$\Delta p = m\Delta v \ , \ v_1 = 15/0\text{m/s} \ , \ v_2 = -22/0\text{m/s}$$

$$\Delta p = (0/280\text{kg})\ (-22/0\text{m/s} - (+15/0\text{m/s}) = -10/36\text{kg.m/s} \simeq -10/4\text{kg.m/s} \ \Rightarrow |\Delta p| = 10/4\ \text{kg.m/s}$$

ب)

$$F_{av} = \frac{|\Delta p|}{\Delta t} = \frac{10/36\,\text{kg.m/s}}{0/0600\,\text{s}} = 172/6N \simeq 173\text{N}$$

۱۷ تغییر تکانه توپ برابر با مساحت سطح زیر نمودار $F-t$ است :

$$\Delta p = S = \frac{(2/5\times10^{-3}\text{s} - 1/0\times10^{-3}\text{s})(20/0\times10^{3}\text{N})}{2} = 15\text{kg.m/s}$$

$$F_{av} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{15\text{kg.m/s}}{1/5\times10^{-3}\text{s}} = 1/0\times10^{4}\text{N}$$

۱۸

الف)

$$T=\frac{t}{n}=\frac{۶۰/۰\text{s}}{\text{دور}\ ۱۰۰۰}=۰/۰۶۰\text{s}$$

ب)

$$v_{\text{وسط}}=\frac{۲\pi r_{\text{وسط}}}{T}=\frac{۲\pi(۲/۰\text{m})}{۰/۰۶۰\text{s}}=\frac{۲۰۰\pi}{۳/۰}\text{m/s}\simeq ۲۰۹\text{m/s}$$

$$v_{\text{نوک}}=\frac{۲\pi r_{\text{نوک}}}{T}=\frac{۲\pi(۴/۰\text{m})}{۰/۰۶۰\text{s}}=\frac{۴۰۰\pi}{۳/۰}\text{m/s}\simeq ۴۱۸/۶\text{m/s}\simeq ۴۱۹\text{m/s}$$

در وسط پره : $a_c=\frac{v^۲}{r_{\text{وسط}}}=\frac{۴\pi^۲ r_{\text{وسط}}}{T^۲}=\frac{۴(۳/۱۴)^۲(۲/۰\text{m})}{(۰/۰۶۰\text{s})^۲}=۴۳۸۲۰\text{m/s}^۲$

$$\simeq ۴/۴\times۱۰^۴\text{m/s}^۲$$

در نوک پره : $a_c=\frac{۴\pi^۲ r_{\text{نوک}}}{T^۲}=\frac{۴(۳/۱۴)^۲(۴/۰\text{m})}{(۰/۰۶۰\text{s})^۲}=۸۷۶۴۰\times$

$$\simeq ۸/۸\times۱۰^۴\text{m/s}^۲$$

۱۹

$$f_s=m\frac{v^۲}{r}\rightarrow f_{s,\max}=m\frac{v^۲}{r}\rightarrow \mu_s F_N=m\frac{v^۲}{r}\rightarrow \mu_s(mg)=m\frac{v^۲}{r}\rightarrow \mu_s=\frac{v^۲}{rg}$$

$$\mu_s=\frac{(۱۵\text{m/s})^۲}{(۵۰\text{m})(۱۰\text{m/s}^۲)}=۰/۴۵$$

۲۰

$$F=G\frac{m_۱m_۲}{r^۲}\Rightarrow m_۱=\frac{Fr^۲}{Gm_۲}=\frac{(۱/۰۰\times۱۰^{-۸}\text{N})(۲۰/۰\text{m})^۲}{(۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\frac{\text{N.m}^۲}{\text{kg}^۲})(۵۰/۰\text{kg})}=$$

$$=۱۱۹۹/۴\text{kg}\simeq ۱/۲\times۱۰^۳\text{kg}$$

۲۱

الف)

$$F=G\frac{M_e m}{r^۲},\ r=R_e+h$$

$$F=(۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\frac{\text{N.m}^۲}{\text{kg}^۲})\frac{(۵/۹۸\times۱۰^{۲۴}\text{kg})(۶۰۰\text{kg})}{(۹۲۰۰\times۱۰^۳\text{m})^۲}$$

$$=۲/۸۲۷۵\times۱۰^۳\text{N}\simeq ۲/۸۳\times۱۰^۳\text{N}$$

ب)

$$a=\frac{F}{m}=\frac{۲/۸۲۷۵\times۱۰^{۳}\,\mathrm{N}}{۶۰۰\,\mathrm{kg}}=۴/۷۱\,\mathrm{m/s^{۲}}$$

پ)

$$F=m\frac{v^{۲}}{r}\rightarrow G\frac{M_e m}{r^{۲}}=m\frac{v^{۲}}{r}\rightarrow v=\sqrt{\frac{GM_e}{r}}=$$

$$\sqrt{\frac{(۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\,\frac{\mathrm{N.m^{۲}}}{\mathrm{kg^{۲}}})(۵/۹۸\times۱۰^{۲۴}\,\mathrm{kg})}{(۹۲۰۰\times۱۰^{۳}\,\mathrm{m})}}=۶/۵۸\times۱۰^{۳}\,\mathrm{m/s}$$

ت)

$$T=\frac{۲\pi r}{v}=\frac{۲(۳/۱۴)(۹۲۰۰\times۱۰^{۳}\,\mathrm{m})}{۶/۵۸\times۱۰^{۳}\,\mathrm{m/s}}=۸۷۸۰\,\mathrm{s}=۸/۷۸\times۱۰^{۳}\,\mathrm{s}$$

فیزیک ۲

۵-۳ نیروی گرانشی

۶۰. دو جسم در فاصلهٔ ۲۰/۰m از هم، یکدیگر را با نیروی گرانشی کوچک $۱/۰۰\times۱۰^{-۱۰}$N، جذب می‌کنند. اگر جرم یکی از اجسام ۵۰/۰kg باشد، جرم جسم دیگر چقدر است؟

۶۱. ماهواره‌ای به جرم ۶۰۰kg در مداری دایره‌ای به ارتفاع ۲۸۰۰ کیلومتر از سطح زمین، به دور آن می‌چرخد.
الف) نیروی گرانشی وارد بر ماهواره
ب) شتاب ماهواره
پ) تندی ماهواره
ت) دورهٔ تناوب ماهواره را در این ارتفاع به‌دست آورید.
($M_e=۵/۹۸\times۱۰^{۲۴}$kg و $R_e=۶۴۰۰$km)

۶۲. الف) در چه ارتفاعی از سطح زمین، وزن یک شخص به نصف مقدار خود در سطح زمین می‌رسد؟
ب) اگر جرم ماهواره‌ای ۲۵۰kg باشد، وزن آن در ارتفاع ۳۶۰۰۰ کیلومتری از سطح زمین چقدر خواهد شد؟

۶۳. الف) شتاب گرانشی ناشی از خورشید در سطح زمین چقدر است؟
ب) شتاب گرانشی ناشی از ماه در سطح زمین چقدر است؟
($M_{\text{خورشید}}=۱/۹۹\times۱۰^{۳۰}$kg و $M_{\text{ماه}}=۷/۳۶\times۱۰^{۲۲}$kg)
۱۴۹/۶×۱۰^۹km = فاصلهٔ زمین تا خورشید
۳/۸۴×۱۰^۸km = فاصلهٔ زمین تا ماه

۶۴. الف) سفینه‌ای به جرم $۳/۰\times۱۰^{۴}$kg در وسط فاصلهٔ بین زمین و ماه قرار دارد. نیروی گرانشی خالصی را که از طرف زمین و ماه به این سفینه در این مکان وارد می‌شود به‌دست آورید (از داده‌های مسئله‌های قبل استفاده کنید).
ب) در چه فاصله‌ای از زمین، نیروی گرانشی ماه و زمین بر سفینه، یکدیگر را خنثی می‌کنند؟

۶۰

۳۲

الف)

$$\frac{W_۲}{W_۱}=\frac{\frac{GM_e m}{(R_e+h)^{۲}}}{\frac{GM_e m}{R_e^{۲}}}=(\frac{R_e}{R+h})^{۲}\rightarrow\frac{۱}{۲}=(\frac{R_e}{R_e+h})^{۲}\rightarrow\sqrt{۲}R_e=R_e+h\rightarrow h=(\sqrt{۲}-۱)R_e\simeq۲۶۵۱\,\mathrm{km}$$

ب)

$$\frac{W_۲}{W_۱}=(\frac{R_e}{R_e+h})^{۲}\Rightarrow\frac{W_۲}{(۲۵۰\,\mathrm{kg})(۹/۸۰\,\mathrm{N/kg})}=(\frac{۶۴۰۰\,\mathrm{km}}{۶۴۰۰\,\mathrm{km}+۳۶۰۰۰\,\mathrm{km}})^{۲}\Rightarrow W_۲=۵۵/۸\,\mathrm{N}$$

۳۳

الف)

$$g_s=G\frac{M_s}{r^{۲}}=(۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\,\frac{\mathrm{N.m^{۲}}}{\mathrm{kg^{۲}}})\frac{(۱/۹۹\times۱۰^{۳۰}\,\mathrm{kg})}{(۱۴۹/۶\times۱۰^{۹}\,\mathrm{m})^{۲}}=۵/۹\times۱۰^{-۳}\,\mathrm{N/kg}$$

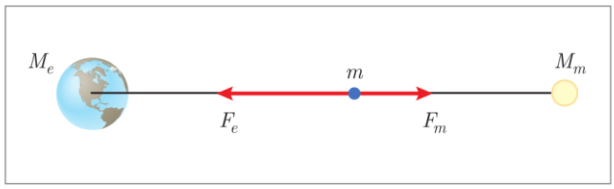
همان‌گونه که ملاحظه می‌شود این مقدار در مقابل شتاب گرانش زمین در سطح آن بسیار ناچیز است.

ب)

$$g_m=G\frac{M_m}{r^{۲}}=(۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\,\frac{\mathrm{N.m^{۲}}}{\mathrm{kg^{۲}}})\frac{(۷/۳۶\times۱۰^{۲۲}\,\mathrm{kg})}{(۳/۸۴\times۱۰^{۸}\,\mathrm{m})^{۲}}=۳/۳۳\times۱۰^{-۵}\,\mathrm{N/kg}$$

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود این مقدار در مقابل شتاب گرانش زمین در سطح آن بسیار ناچیز است.

۲۴



الف)

$$F_{net} = F_{\text{زمین}} - F_{\text{ماه}} = G\frac{M_m m}{r^2} - G\frac{M_e m}{r^2} = G\frac{m}{r^2}(M_e - M_m)$$

$$= (6/67\times10^{-11}\,\frac{\text{N.m}^2}{\text{kg}^2})\frac{(3/00\times10^{4}\,\text{kg})}{(\frac{384}{2}\times10^{6}\,\text{m})^2}(5/98\times10^{24}\,\text{kg} -$$

$$7/36\times10^{22}\,\text{kg}) = 3/2\times10^{2}\,\text{N}$$

ب)

$$F_{\text{زمین}} = F_{\text{ماه}} \rightarrow G\frac{M_e m}{x^2} = G\frac{M_m m}{(r-x)^2} \rightarrow \frac{M_e}{x^2} = \frac{M_m}{(r-x)^2} \rightarrow \frac{x^2}{(r-x)^2} = \frac{M_e}{M_m}$$

$$\frac{x}{3/84\times10^{5}\,\text{km} - x} = \sqrt{\frac{M_e}{M_m}} = \sqrt{\frac{5/98\times10^{24}\,\text{kg}}{7/36\times10^{22}\,\text{kg}}} = 9/01$$

$$x = \frac{9/01\times3/84\times10^{5}\,\text{km}}{10} = 3/46\times10^{5}\,\text{km}$$

تمارین فصل سوم

راهنمای پاسخ‌یابی پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳

۳ـ۱ و ۳ـ۲ نوسان دوره‌ای و حرکت هماهنگ ساده

۱. یک وزنهٔ ۲ N را از انتهای یک فنر قائم می‌آویزیم، فنر ۲ cm کشیده می‌شود. سپس این فنر را در حالی که به یک وزنهٔ ۵ N متصل است روی میز بدون اصطکاک به نوسان درمی‌آوریم. دورهٔ تناوب این نوسان چقدر است؟

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

۳. جرم خودرویی همراه با سرنشینان آن ۱۶۰۰ kg است. این خودرو روی چهار فنر با ثابت ۲×۱۰^{۴} N/m سوار شده است. دورهٔ تناوب بسامد، و بسامد زاویه‌ای ارتعاش خودرو وقتی از جاده‌ای می‌گذرد چقدر است؟ فرض کنید وزن خودرو به‌طور یکنواخت روی فنرهای چهارچرخ توزیع شده است.

۴. دامنهٔ نوسان یک حرکت هماهنگ ساده ۳×۱۰^{-۲} m و بسامد آن ۵/۰ Hz هرتز است. معادلهٔ حرکت این نوسانگر را بنویسید و نمودار مکان ـ زمان آن را در یک دوره رسم کنید.

۵. نمودار مکان ـ زمان نوسانگری مطابق شکل زیر است:

الف) معادلهٔ حرکت این نوسانگر را بنویسید.

ب) مقدار v را به‌دست آورید.

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

۳ـ۳ انرژی در حرکت هماهنگ ساده

۶. دامنهٔ نوسان وزنه‌ای که به یک فنر با ثابت ۷۲ N/m متصل است و در راستای افقی نوسان می‌کند، برابر با ۸/۰ cm است. اگر انرژی پتانسیل این نوسانگر در نقطه‌ای از مسیر نوسان، $۱/۰\times۱۰^{-۳}$ J باشد، انرژی جنبشی آن در این مکان چقدر است؟ (از نیروهای اتلافی چشم‌پوشی شود.)

۷. جسمی به جرم ۱/۰ kg به فنری افقی با ثابت ۶۰ N/cm متصل است. فنر به اندازهٔ ۹/۰ cm فشرده و سپس رها می‌شود و جسم روی سطح افقی شروع به نوسان می‌کند. با چشم‌پوشی از اصطکاک الف) دامنهٔ نوسان و تندی بیشینهٔ جسم چقدر است؟ ب) وقتی تندی جسم ۱/۴ m/s است، انرژی پتانسیل کشسانی آن چقدر است؟

۸. معادلهٔ حرکت هماهنگ ساده یک نوسانگر در SI به‌صورت $x=(۰/۰۵\,\mathrm{m})\cos۲\pi t$ است.

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

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

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

۹. الف) ساعتی آونگ‌دار (یا آونگ ساده) در تهران تنظیم شده است. اگر این ساعت به منطقه‌ای در استوا برده شود، عقب می‌افتد یا جلو؟ مقدار این عقب یا جلوافتادن در یک شبانه‌روز چقدر است؟ ($g_{\text{تهران}}=۹/۷۸\,\mathrm{m/s^{۲}}$ و $g_{\text{استوا}}=۹/۷۸۰\,\mathrm{m/s^{۲}}$)

ب) با فرض اینکه ساعت آونگ‌دار جلو می‌افتد یا عقب؟

۳ـ۴ تشدید

۱۰. هر فرد معمولاً با چرخش آزاد بدنی به جیب و راست، راه می‌رود و بدین ترتیب نیروهای کوچکی به زمین زیر پایش وارد می‌کند. این نیروها بسامدی در حدود ۱/۰ Hz دارند. لرزش شدید پل هوایی میلنیوم[۱] در آغاز هزاره جدید را به غیور منظر گروهی از افراد از این پل ربط نداده‌اند. چگونه ممکن است نوسان‌های بدن این افراد موجب چنین لرزشی شده باشد؟

۱ـ Millennium bridge

۱ از رابطهٔ $T=۲\pi\sqrt{m/k}$ استفاده می‌کنیم. در این رابطه به جای m از W/g استفاده می‌کنیم که در آن W وزن جسم است. همچنین ثابت فنر را از قانون هوک به دست می‌آوریم

$$k=\frac{|F|}{x}=\frac{۲۰\,\mathrm{N}}{۰/۲۰\,\mathrm{m}}=۱۰۰\,\mathrm{N/m}$$

در نتیجه :

$$T=۲\pi\sqrt{\frac{W/g}{k}}=۲\pi\sqrt{\frac{(۵/۰\,\mathrm{N})/(۹/۸\,\mathrm{N/kg})}{۱۰۰\,\mathrm{N/m}}}$$
$$=۰/۴۶\,\mathrm{s}$$

۲ از رابطهٔ $T=۲\pi\sqrt{m/k}$ استفاده می‌کنیم. بنابراین داریم :

$$\frac{T_۲}{T_۱}=\sqrt{\frac{m_۲}{m_۱}}=\sqrt{\frac{(m+۲/۰)}{m}}=\frac{۳/۰}{۲/۰}$$

از آنجا $m=۱/۶\,\mathrm{kg}$ به دست می‌آید.

۳ چون وزن (و در نتیجه جرم) به‌طور یکنواخت توزیع شده است، روی هر فنر $\frac{۱}{۴}$ جرم کل قرار می‌گیرد. بنابراین $m=M/۴=۴۰۰\,\mathrm{kg}$، و در نتیجه :

$$T=۲\pi\sqrt{\frac{m}{k}}=۲\pi\sqrt{\frac{۴۰۰\,\mathrm{kg}}{۲/۰۰\times۱۰^{۴}\,\mathrm{N/m}}}$$
$$=۰/۸۸۸\,\mathrm{s}$$

و از آنجا

$$f=\frac{۱}{T}=۱/۱۲۵\,\mathrm{s^{-۱}}\approx۱/۱۲\,\mathrm{Hz}$$

و

$$\omega=۲\pi f=۲\pi(۱/۱۲۵\,\mathrm{s^{-۱}})=۷/۰۷\,\mathrm{rad/s}$$

۴ معادلهٔ حرکت نوسانگر با رابطهٔ $x=A\cos\omega t$ داده می‌شود. که در اینجا

$$A=۳/۰\times۱۰^{-۲}\,\mathrm{m}\ ,\ \omega=۲\pi f=۲\pi\,(۵/۰\,\mathrm{s^{-۱}})=۱۰\pi\,\mathrm{rad/s}$$

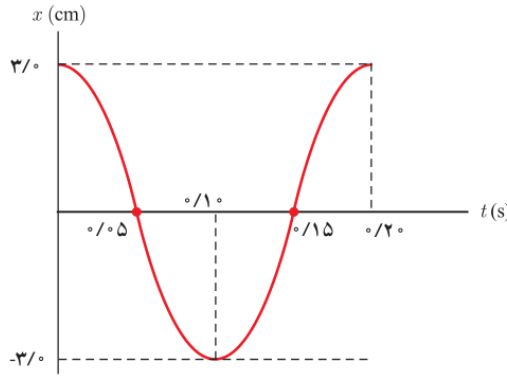
در نتیجه

$$x=(۳/۰\times۱۰^{-۲}\,\mathrm{m})\cos(۱۰\pi t)$$

برای رسم نمودار مکان ـ زمان خوب است دورهٔ تناوب را محاسبه کنیم :

$$T=\frac{۱}{f}=\frac{۱}{۵/۰\,\mathrm{s^{-۱}}}=۰/۲۰\,\mathrm{s}$$

بنابراین شکلی شبیه زیر خواهیم داشت



۵ الف) معادلهٔ حرکت نوسانگر با رابطهٔ $x = A\cos \omega t$ داده می‌شود. اگر در شکل دقت کنیم داریم :

$$\frac{5T}{4} = 0/5\,s \Rightarrow T = 0/4\,s$$

در نتیجه

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0/4\,s} = 5\pi\,rad/s$$

بنابراین معادلهٔ حرکت نوسانگر چنین می‌شود

$$x = A\cos 5\pi t$$

ب) در زمان t_1، $x = A/2$ است و در نتیجه

$$\frac{A}{2} = A\cos 5\pi t_1$$

در نتیجه

$$\cos 5\pi t_1 = \frac{1}{2}$$

چون t_1 نخستین زمانی است که $x = A/2$ است، در رابطهٔ بالا $5\pi t_1$ را برابر $\pi/3$ می‌گذاریم. در نتیجه $t_1 = \frac{1}{15}\,s$ می‌شود.

پ) با فرض آنکه نوسانگر این مسئله، دستگاه جرم ــ فنر باشد، از قانون هوک به صورت $|F| = k|x|$ استفاده می‌کنیم. بنابراین داریم :

$$m|a| = k|x|$$

و در نتیجه

$$|a| = \frac{k}{m}|x| = \omega^2|x| = (5\pi)^2|x|$$

که در آن از $\omega = \sqrt{k/m}$ استفاده کردیم.

بنابراین باید x را در زمان t_1 محاسبه کنیم، که البته از روی شکل می‌دانیم برابر با $2/0\,cm$ است. اگر x را در لحظهٔ t_1 نداشتیم، باید از محاسبه‌ای نظیر محاسبهٔ زیر آن را به دست می‌آوردیم :

$$x(t_1) = A\cos 5\pi t_1$$
$$= (0/04\,m)\cos(5\pi\frac{1}{15}) = (0/040\,m)\cos\frac{\pi}{3}$$
$$= 0/020\,m = 2/0\,cm$$

در نتیجه

$$|a| = (5\pi)^2\,(0/020\,m) = 4/93\,m/s^2 \approx 4/9\,m/s^2$$

۶ الف) انرژی کل نوسانگر برابر است با

$$E = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}(74\,N/m)(0/080\,m)^2 = 0/2368\,J \approx 0/24\,J$$

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳

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

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

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

۳. جرم خودرویی همراه با سرنشینان آن ۱۶۰۰ kg است. این خودرو روی چهار فنر با ثابت $2/0\times10^4\,N/m$ سوار شده است. دورهٔ تناوب بسامد، و بسامد زاویه‌ای ارتعاش خودرو وقتی از جاله‌ای می‌گذرد چقدر است؟ فرض کنید وزن خودرو به‌طور یکنواخت روی فنرهای چهارچرخ توزیع شده است.

۴. دامنهٔ نوسان یک حرکت هماهنگ ساده $3/0\times10^{-4}\,m$ و بسامد آن ۵۰ Hz است. معادلهٔ حرکت این نوسانگر را بنویسید و نمودار مکان ــ زمان آن را در یک دوره رسم کنید.

۵. نمودار مکان ــ زمان نوسانگری مطابق شکل زیر است :

الف) معادلهٔ حرکت این نوسانگر را بنویسید.

ب) مقدار t_1 را بدست آورید.

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

۳-۳ انرژی در حرکت هماهنگ ساده

۷. دامنهٔ نوسان وزنه‌ای که به یک فنر با ثابت فنر ۷۴ N/m متصل است و در راستای افقی نوسان می‌کند، برابر با ۸/۰ cm است. اگر انرژی پتانسیل این نوسانگر در نقطه‌ای از مسیر نوسان، $(4\times10^{-2}\,J)$ باشد، انرژی جنبشی آن در این مکان چقدر است؟ (از نیروهای اتلافی چشم‌پوشی نمود.)

۸. جسمی به جرم ۱/۰ kg به فنری افقی با ثابت ۶۰/۰ N/cm متصل است. فنر به اندازهٔ ۴/۰ cm فشرده و سپس رها می‌شود و جسم روی سطح افقی شروع به نوسان می‌کند. با چشم‌پوشی از اصطکاک

الف) دامنهٔ نوسان و تندی بیشینهٔ جسم چقدر است؟

ب) وقتی تندی جسم ۱/۲ m/s است، انرژی پتانسیل کشسانی آن چقدر است؟

۹. معادلهٔ حرکت هماهنگ ساده یک نوسانگر در SI به‌صورت $x = (0/05\,m)\cos(2\pi t + \frac{\pi}{3})$ است.

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

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

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

۱۰. الف) ساعتی آونگ‌دار (یا 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؟ ($g_{\text{تهران}} = 9/8\,m/s^2$ و $g_{\text{استوا}} = 9/78\,m/s^2$)

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

۳-۴ تشدید

۱۱. هر فرد معمولاً با هرخش اندک بدنش به چپ و راست، راه می‌رود و بدین ترتیب نیروهای کوچکی به زمین زیر پایش وارد می‌کند. این نیروها بسامدی در حدود ۵Hz دارند. لرزش تندید پل هوایی میلینیوم[1] 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؟

۱ـ Millennium bridge

Physics_Agheli
کانال تلگرام و اینستاگرام
گروه آموزشی مهندس علی عاقلی

ب) $E = K + U$ است و بنابراین

$$K = E - U = ۰/۲۳۶۸\ \text{J} - ۰/۰۸۰\ \text{J} = ۰/۱۶\ \text{J}$$

۷ الف) بدیهی است دامنهٔ نوسان $A = ۹/۰\ \text{cm}$ است و برای انرژی جنبشی بیشینه داریم :

$$K_{max} = \frac{۱}{۲}mv_{max}^{۲} = \frac{۱}{۲}kA^{۲}$$

بنابراین تندی بیشینهٔ v_{max} چنین می‌شود

$$v_{max} = \sqrt{\frac{k}{m}}A = \sqrt{\frac{۶/۰\times۱۰^{۲}\ \text{N/m}}{۱/۰\ \text{kg}}}(۰/۰۹۰\ \text{m}) = ۲/۲\ \text{m/s}$$

ب) از $E = K + U$ استفاده می‌کنیم. $E = \frac{۱}{۲}kA^{۲}$ قرار می‌دهیم و از آنجا درمی‌یابیم :

$$U = E - K = \frac{۱}{۲}kA^{۲} - \frac{۱}{۲}mv^{۲}$$

$$= \frac{۱}{۲}(۶/۰\times۱۰^{۲}\ \text{N/m})(۰/۰۹۰\ \text{m})^{۲} - \frac{۱}{۲}(۱/۰\ \text{kg})(۱/۶\ \text{m/s})^{۲}$$

$$= ۲/۴۳\ \text{J} - ۱/۲۸\ \text{J} = ۱/۱۵\ \text{J}$$

۸ الف) وقتی $x = ۰$ است، یعنی در زمانی که نوسانگر از نقطهٔ تعادل می‌گذرد، تندی آن بیشینه است.

$$A\cos\omega t = ۰ \quad , \quad A \neq ۰ \Rightarrow \omega t = (۲n+۱)\frac{\pi}{۲}$$

چون نخستین‌بار را خواسته است، $n = ۰$ می‌گذاریم :

$$\omega t = \pi/۲ \Rightarrow ۲۰\pi t = \frac{\pi}{۲}$$

و از آنجا $t = \frac{۱}{۴۰}\ \text{s}$ به دست می‌آید. (این نتیجه را می‌توانستیم به طور ساده‌ای با رسم یک نمودار کسینوسی نیز به دست آوریم، به طوری که در لحظهٔ $t = T/۴$ درمی‌یابیم برای نخستین‌بار $x = ۰$ می‌شود.)

ب) تندی نوسانگر وقتی صفر است که $x = -A$ باشد که این متناظر با زمان $t = \frac{۲}{۴۰}\ \text{s}$ است. این را می‌شود به طور ریاضی نیز نشان داد :

$$A\cos\omega t = -A \Rightarrow \cos\omega t = -۱ \Rightarrow \omega t = n\pi$$

بنابراین برای نخستین بار $\omega t = \pi$ و از آنجا $t = \frac{۲}{۴۰}\ \text{s}$ می‌شود.

پ) در $E = ۲U = ۲K$ باید $U = K$ قرار دهیم. در نتیجه $E = ۲U = ۲K$ می‌شود. از طرفی $E = K_{max} = \frac{۱}{۲}mv_{max}^{۲}$ است. بنابراین

$$K = \frac{E}{۲} = \frac{۱}{۲}(\frac{۱}{۲}mv_{max}^{۲})$$

$$\frac{۱}{۲}mv^{۲} = \frac{۱}{۴}mv_{max}^{۲} \Rightarrow |v| = \frac{۱}{\sqrt{۲}}v_{max}$$

از طرفی $v_{max} = A\omega$ است. بنابراین

$$|v| = \frac{۱}{\sqrt{۲}}A\omega = \frac{۱}{\sqrt{۲}}(۰/۰۵۰\ \text{m})(۲۰\pi)$$

$$= ۲/۲\ \text{m/s}$$

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳

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

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 ۵۰N متصل است روی میز بدون اصطکاک به نوسان درمی‌آوریم. دورهٔ تناوب این نوسان چقدر است؟

۲. هرگاه جسمی به جرم m به 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؟

۳. جرم خودرویی همراه با سرنشینان آن ۱۶۰۰kg است. این خودرو روی چهار فنر با ثابت $۲/۰\times۱۰^{۴}\ \text{N/m}$ سوار شده است. دورهٔ تناوب بسامد، و بسامد زاویه‌ای ارتعاش خودرو وقتی از جاده‌ای می‌گذرد چقدر است؟ فرض کنید وزن خودرو به‌طور یکنواخت روی فنرهای چهارچرخ توزیع شده است.

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

۵. نمودار مکان ـ زمان نوسانگری مطابق شکل زیر است :

الف) معادلهٔ حرکت این نوسانگر را بنویسید.

ب) مقدار v را به‌دست آورید.

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

۳-۳ انرژی در حرکت هماهنگ ساده

۶. دامنهٔ نوسان وزنه‌ای که به یک فنر با ثابت ۷۴N/m متصل است و در راستای افقی نوسان می‌کند، برابر با ۸/۰cm است. اگر انرژی پتانسیل این نوسانگر در نقطه‌ای از مسیر نوسان، $۸/۰\times۱۰^{-۲}\ \text{J}$ باشد، انرژی جنبشی آن در این مکان چقدر است؟ (از نیروهای اتلافی چشم‌پوشی شود.)

۷. جسمی به جرم ۱/۰kg به فنری افقی با ثابت ۶۴۰N/cm متصل است. فنر به اندازهٔ ۹/۰cm فشرده و سپس رها می‌شود و جسم روی سطح افقی شروع به نوسان می‌کند. با چشم‌پوشی از اصطکاک الف) دامنهٔ نوسان و تندی بیشینهٔ جسم چقدر است؟ ب) وقتی تندی جسم ۱/۶m/s است، انرژی پتانسیل کشسانی آن چقدر است؟

۸. معادلهٔ حرکت هماهنگ سادهٔ یک نوسانگر در SI به صورت $x = (۰/۰۵\ \text{m})\cos(۴\cdot\pi t)$ است.

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

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

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

۹. الف) ساعتی آونگ‌دار (یا آونگ ساده) در تهران تنظیم شده است. اگر این ساعت به منطقه‌ای در استوا برده شود، عقب می‌افتد یا جلو؟ مقدار این عقب یا جلوافتادن در یک شبانه‌روز چقدر است؟ ($g_{\text{تهران}} = ۹/۷۸\ \text{m/s}^{۲}$ و $g_{\text{استوا}} = ۹/۷۸۰\ \text{m/s}^{۲}$)

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

۳-۴ تشدید

۱۰. هر فرد معمولاً با چرخش اندک بدنش به چپ و راست، راه می‌رود و بدن ترتیب نیروهای کوچکی به زمین زیر پایش وارد می‌کند. این نیروها بسامدی در حدود ۱/۵Hz دارند. لرزش شدید پل هوایی میلنیوم[۱] در آغاز هزارهٔ جدید را به خود منظم گروهی از افراد از این پل ربط داده‌اند. چگونه ممکن است نوسان‌های بدن این افراد موجب چنین لرزشی شده باشد؟

۱. Millennium bridge

کانال تلگرام و اینستاگرام
گروه آموزشی مهندس علی عاقلی
Physics_Agheli

مهندس علی عاقلی
مدرس فیزیک
Physics_Agheli

۹ الف) زمانی که ساعت نشان می‌دهد متناسب با عکس دورهٔ نوسان آونگ است. با استفاده از رابطهٔ $T = 2\pi\sqrt{L/g}$ درمی‌یابیم که چون $g_{\text{تهران}} > g_{\text{استوا}}$ است، بنابراین ساعت در استوا عقب می‌افتد. میزان این عقب‌افتادگی را می‌توانیم محاسبه کنیم. چون $t_2/t_1 = T_1/T_2$ است، داریم

$$t_2 - t_1 = (\sqrt{g_2/g_1} - 1)t_1$$

که اگر $t_1 = 86400\,\text{s}$ قرار دهیم به $|\Delta t| = 88/2\,\text{s}$ می‌رسیم.

ب) با افزایش دما، طول آونگ زیاد می‌شود و بنا به رابطهٔ $T = 2\pi\sqrt{L/g}$ درمی‌یابیم که دورهٔ تناوب زیاد و بسامد کم شده است و بنابراین ساعت عقب می‌افتد.

۱۰ یقیناً بسامد ناشی از چرخش (تاب خوردن) بدن هر فرد تقریباً برابر بسامدی بود که پل با آن می‌توانست به چپ و راست تاب بخورد (بسامد طبیعی پل) و همین باعث پدیدهٔ تشدید پل شد. ولی تا هنگامی که راه رفتن عابران به طور منظم رخ نداده بود، لرزش پل آنقدر شدید نبود که به حادثه‌ای بیانجامد. این نوسان‌ها سبب شد که عابران برای حفظ تعادل خود گام‌های خود را با نوسان‌های پل هم‌گام کنند که این موجب شدیدتر شدن لرزش پل و وقوع این حادثه شد.

۱۱ با به نوسان درآمدن آونگ X، آونگ B با دامنهٔ بزرگی به نوسان درمی‌آید. البته سایر آونگ‌ها نیز ممکن است به نوسان درآیند اما دامنهٔ نوسان آنها کوچک است. در حالی که آونگ B که دورهٔ نوسان (و در نتیجه بسامد) آن با آونگ X یکسان است، با دامنهٔ بزرگی به نوسان ادامه می‌دهد. به عبارتی، به آونگ‌های دیگر هم انرژی منتقل می‌شود ولی بیشترین انرژی در حالت تشدید به نوسانگر B انتقال می‌یابد.

۱۲ الف) با افزایش بسامدِ نوسان‌ساز، بدیهی است که بسامد موج حاصل نیز افزایش می‌یابد. ولی تندی موج تغییر نمی‌کند زیرا ویژگی‌های محیط تغییری نکرده است. با توجه به رابطهٔ $\lambda = v/f$ درمی‌یابیم طول موج کم می‌شود.

ب) چون $v = \sqrt{F/\mu}$ است، با افزایش کشش ریسمان تندی موج زیاد می‌شود. ولی چون بسامدِ نوسان‌ساز تغییر نکرده است، بسامد موج نیز تغییری نمی‌کند و طبق رابطهٔ $\lambda = v/f$، طول موج زیاد می‌شود.

۱۳ الف) وقتی موج به سمت چپ می‌رود، پس از گذشت زمان $T/4$ درهٔ نشان داده شده در شکل به اندازهٔ $\lambda/4$ به سمت چپ می‌رود و این به معنی آن است که M رو به پایین حرکت کرده است. دامنه و طول موج نیز با نمادهای A و λ در شکل نشان داده شده‌اند.

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳

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

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

۲. هرگاه جسمی به جرم ۱۰۰ g به فنری متصل شود و به نوسان درآید، با دورهٔ تناوب ۲/۰ s نوسان می‌کند. اگر جرم این جسم ۲/۰ kg افزایش یابد، دورهٔ تناوب ۳/۰ s می‌شود. مقدار m چقدر است؟

۳. جرم خودرویی همراه با سرنشینان آن ۱۶۰۰ kg است. این خودرو روی چهار فنر با ثابت $2/0\times10^{5}\,\text{N/m}$ سوار شده است. دورهٔ تناوب، بسامد، و بسامد زاویه‌ای ارتعاش خودرو وقتی از جاله‌ای می‌گذرد چقدر است؟ فرض کنید وزن خودرو به‌طور یکنواخت روی فنرهای چهارچرخ توزیع شده است.

۴. دامنهٔ یک حرکت هماهنگ ساده $3/0\times10^{-2}\,\text{m}$ و بسامد آن ۵ Hz است. معادلهٔ حرکت این نوسانگر را بنویسید و نمودار مکان ـ زمان آن را در یک دوره رسم کنید.

۵. نمودار مکان ـ زمان نوسانگری مطابق شکل زیر است:

الف) معادلهٔ حرکت این نوسانگر را بنویسید.

ب) مقدار v_0 را به‌دست آورید.

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

۳-۳ انرژی در حرکت هماهنگ ساده

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

۷. جسمی به جرم ۱/۰ kg به فنری افقی با ثابت ۶۴/۰ N/cm متصل است. فنر به اندازهٔ ۹/۰ cm فشرده و سپس رها می‌شود و جسم روی سطح افقی شروع به نوسان می‌کند. با چشم‌پوشی از اصطکاک الف) دامنهٔ نوسان و تندی بیشینهٔ جسم چقدر است؟

ب) وقتی تندی جسم ۱/۶ m/s است، انرژی پتانسیل کشسانی آن چقدر است؟

۸. معادلهٔ حرکت هماهنگ سادهٔ یک نوسانگر در SI به‌صورت $x = (0/05\,\text{m})\cos 2\pi t$ است.

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

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

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

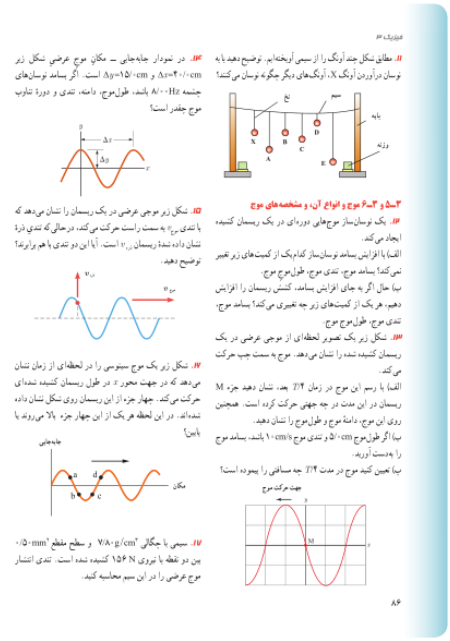
۹. الف) ساعتی آونگ‌دار (با آونگ ساده) در تهران تنظیم شده است. اگر این ساعت به منطقه‌ای در استوا برده شود، عقب می‌افتد یا جلو؟ مقدار این عقب یا جلوافتادن در یک شبانه‌روز چقدر است؟ ($g_{\text{تهران}} = 9/79\,\text{m/s}^2$ و $g_{\text{استوا}} = 9/78\,\text{m/s}^2$)

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

۳-۴ تشدید

۱۰. هر فرد معمولاً با چرخش اندک بدنش به چپ و راست، راه می‌رود و بدن ترتیب نیروهای کوچکی به زمین زیر پایش وارد می‌کند. این نیروها بسامدی در حدود ۰/۵ Hz دارند. لرزش تندید پل هزاره میلنیوم[1] در آغاز هزارهٔ جدید را به خود منظر گروهی از افراد از این پل ربط داده‌اند. چگونه ممکن است نوسان‌های بدن این افراد موجب چنین لرزشی شده باشد؟

۱. Millennium bridge



فیزیک ۳

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

سیم
X
A
B
C
D
E

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

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

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

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

۱۳. شکل زیر یک تصویر لحظه‌ای از موجی عرضی در یک ریسمان کشیده شده را نشان می‌دهد. موج به سمت چپ حرکت می‌کند.

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

ب) اگر طول‌موج ۵/۰ cm و تندی موج ۱۰ cm/s باشد، بسامد موج را به‌دست آورید.

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

جهت حرکت موج
x
M
y

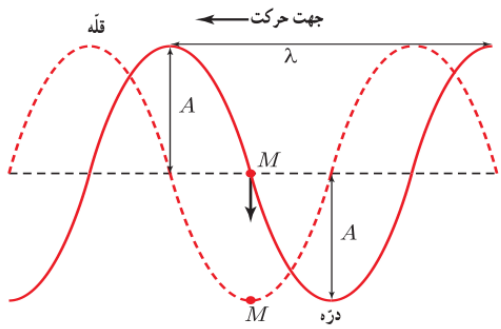
۱۴. در نمودار جابه‌جایی ـ مکان موج عرضی شکل زیر $\Delta x = 4/0\,\text{cm}$ و $\Delta y = 15/0\,\text{cm}$ است. اگر بسامد نوسان‌های چشمه ۸/۰ Hz باشد، طول‌موج، دامنه، تندی و دورهٔ تناوب موج چقدر است؟

۱۵. شکل زیر موجی عرضی در یک ریسمان را نشان می‌دهد که با تندی $v_{\text{موج}}$ به سمت راست حرکت می‌کند. درحالی که تندی ذرهٔ نشان داده شدهٔ ریسمان $v_{\text{ذره}}$ است. آیا این دو تندی با هم برابرند؟ توضیح دهید.

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؟

۱۷. سیمی با چگالی $7/80\,\text{g/cm}^3$ و سطح مقطع $0/50\,\text{mm}^2$ بین دو نقطه با نیروی ۱۵۶ N کشیده شده است. تندی انتشار موج عرضی را در این سیم محاسبه کنید.

کانال تلگرام و اینستاگرام
گروه آموزشی مهندس علی عاقلی
Physics_Agheli



ب) بسامد موج برابر است با

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{۱۰\,\text{cm/s}}{۵/۰\,\text{cm}} = ۲/۰\,\text{s}^{-۱} = ۲/۰\,\text{Hz}$$

پ) از رابطهٔ $x = vt$ استفاده می‌کنیم :

$$x = vt = v(\frac{T}{۴}) = v(\frac{۱}{۴f}) = (۱۰\,\text{cm/s})(\frac{۱}{۸/۰\,\text{s}^{-۱}})$$

$$= ۱/۲۵\,\text{cm} \approx ۱/۲\text{cm}$$

که این همان معادل $۱/۲۵\text{cm} = (۵/۰\text{cm})/۴ = \lambda/۴$ است.

۱۴ از روی شکل درمی‌یابیم طول موج $\lambda = \Delta x = ۴۰/۰\,\text{cm}$ و دامنه $A = \Delta y = ۱۵/۰\,\text{cm}$ است. با استفاده از رابطهٔ $v=\lambda f$ می‌توانیم تندی انتشار موج را به دست آوریم :

$$v = \lambda f = (۴۰/۰\text{cm})\,(۸/۰\,\text{s}^{-۱}) = ۳۲۰\ \text{cm/s} = ۳/۲۰\ \text{m/s}$$

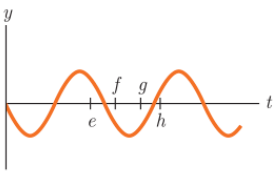
دورهٔ تناوب نیز وارون بسامد است :

$$T = \frac{۱}{f} = \frac{۱}{۸/۰\,\text{s}^{-۱}} = ۰/۱۲۵\,\text{s}$$

۱۵ خیر؛ این دو تندی متفاوت‌اند. تندی $v_{\text{موج}}$ همان تندی انتشار موج است که با مشخصه‌های ریسمان تعیین می‌شود و همیشه مقدار ثابتی در هر جای ریسمان دارد. ولی هر ذره روی ریسمان به طور هماهنگ ساده‌ای با نوسان چشمه حرکت می‌کند. بنابراین هر ذرهٔ ریسمان تندی ذره v را دارد که با زمان تغییر می‌کند. تندی ذره وقتی از موضع تعادل می‌گذرد، بیشینه و در نقطه‌های اوج و حضیض صفر است. در حالی که تندی موج همواره مقدار ثابتی دارد که از مشخصه‌های ریسمان تعیین می‌شود.

۱۶ با استدلالی مشابه آنچه در حل مسئله ۱۳ ارائه کردیم (و نیز با وارسی شکل ۳ــ۱۹ کتاب) درمی‌یابیم a و b رو به بالا، و c و d رو به پایین حرکت می‌کنند.

(پرسش جالب دیگری هم که می‌شد مطرح کرد در مورد جابه‌جایی یک جزءِ ریسمان برحسب زمان، مطابق شکل زیر، است.



در این صورت در شکل صفحه قبل، در زمان‌های e و f جزءِ ریسمان رو به پایین و در لحظه‌های g و h جزءِ ریسمان حرکت می‌کند.)

۱۷ باید از رابطهٔ $v=\sqrt{F/\mu}$ استفاده کنیم. ولی توجه کنید که μ چگالی خطی جرم است و در اینجا چگالی حجمی داده شده است. اگر چگالی حجمی داده شده را در مساحت مقطع سیم ضرب کنیم، چگالی خطی جرم به دست می‌آید:

$$\mu = \rho A$$

$$= (۷/۸۰ \text{g/cm}^۳)(۰/۵۰\times۱۰^{-۲}\text{cm}^۲)(\frac{۱۰^{-۳}\text{kg}}{\text{g}})(\frac{۱۰^{۲}\text{cm}}{\text{m}})$$

$$= ۰/۰۰۳۹ \text{ kg/m}$$

از آنجا تندی انتشار موج چنین می‌شود:

$$v=\sqrt{\frac{F}{\mu}}=\sqrt{\frac{۱۵۶\text{N}}{۰/۰۰۳۹\text{kg/m}}}=۲۰۰\text{m/s}=۲/۰\times۱۰\text{m/s}$$

۱۸ در واقع این شکل براساس افزایش طول موج (یا کاهش بسامد) از چپ به راست مرتب شده است و بنابراین در مقایسه با شکل ۳ـ۲۲ کتاب که طیف امواج الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد درمی‌یابیم P، Q، R، S و T به ترتیب معادل ناحیه‌های فرابنفش، مرئی، فروسرخ، میکروموج و امواج رادیویی است.

۱۹ از قاعدهٔ دست راست برای تعیین جهت میدان مغناطیسی استفاده می‌کنیم (شکل ۳ـ۲۱ کتاب). جهت انتقال انرژی همان جهت انتشار موج و در سوی $-\hat{k}$ است. سوی میدان الکتریکی نیز در جهت $+\hat{j}$ است. بنابراین جهت میدان مغناطیسی در سوی $+\hat{i}$ (سوی مثبت محور z) می‌شود.

۲۰ الف) از رابطهٔ $f=c/\lambda$ استفاده می‌کنیم:

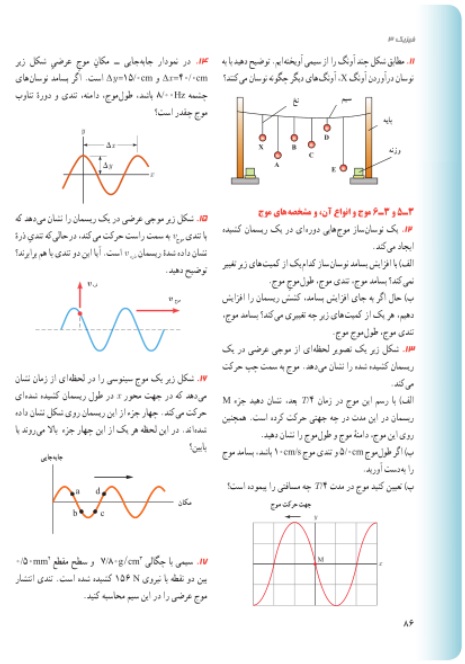
$$f=\frac{c}{\lambda}=\frac{۳/۰\times۱۰^{۸}\text{m/s}}{۶/۲۰\times۱۰^{-۷}\text{m}}=۴/۸۳۹\times۱۰^{۱۴}\text{Hz}\approx۴/۸\times۱۰^{۱۴}\text{Hz}$$

ب) طول موج در هوا چنین می‌شود:

$$\lambda=\frac{c}{f}=\frac{۳/۰\times۱۰^{۸}\text{m/s}}{۴/۳۰\times۱۰^{۱۴}\text{s}^{-۱}}=۶/۹۷۷\times۱۰^{-۷}\text{m}\approx۷/۰\times۱۰^{-۷}\text{m}$$

و در آب

$$\lambda=\frac{v}{f}=\frac{۲/۲۵\times۱۰^{۸}\text{m/s}}{۴/۳۰\times۱۰^{۱۴}\text{s}^{-۱}}=۵/۲۳\times۱۰^{-۷}\text{m}$$


فیزیک ۳۰

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

۳ـ۵ و ۳ـ۶ موج و انواع آن، و مشخصه‌های موج

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.
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.

۱۳. شکل زیر یک تصویر لحظه‌ای از موجی عرضی در یک ریسمان کشیده شده را نشان می‌دهد. موج به سمت جیب حرکت می‌کند.
الف) با رسم این موج در زمان $T/۴$ بعد، نشان دهید جزء M ریسمان در این مدت در جهتی حرکت کرده است. همچنین روی این موج، دامنهٔ موج و طول‌موج را نشان دهید.
ب) اگر طول‌موج ۵۰cm و تندی موج ۱۰cm/s باشد، بسامد موج را به‌دست آورید.
پ) تعیین کنید موج در مدت $T/۴$ چه مسافتی را پیموده است؟

جهت حرکت موج

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

۱۵. شکل زیر موجی عرضی در یک ریسمان را نشان می‌دهد که با تندی v_{P} به سمت راست حرکت می‌کند، درحالی‌که تندی ذرهٔ نشان داده شدهٔ ریسمان v_{m} است. آیا این دو تندی با هم برابرند؟ توضیح دهید.

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؟

جابه‌جایی — مکان

۱۷. سیمی با چگالی $۷/۸\text{g/cm}^۳$ و سطح مقطع $۰/۵۰\text{mm}^۲$ بین دو نقطه با نیروی ۱۵۶ N کشیده شده است. تندی انتشار موج عرضی را در این سیم محاسبه کنید.

۸۶

فصل ۳: نوسان و موج

۱۸. شکل زیر طیف موج‌های الکترومغناطیسی را با یک مقیاس تقریبی نشان می‌دهد.
الف) نام قسمت‌های از طیف را که با حروف علامت‌گذاری نشده‌اند، بنویسید.
ب) اگر در طول طیف از چپ به راست حرکت کنیم، مقدار کدام مشخصه‌های موج افزایش یا کاهش می‌یابد و کدام ثابت می‌ماند؟

پرتوهای X	P	Q	R	S	پرتوهای γ

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.

۲۰. الف) طول‌موج نور بارنجی در هوا حدود $۶/۲۰\times۱۰^{-۷}\text{m}$ است. بسامد این نور چند هرتز است؟
ب) بسامد نور قرمز در حدود $۴/۳۰\times۱۰^{۱۴}\text{Hz}$ است. طول‌موج این نور را در هوا و آب حساب کنید. (سرعت نور را در هوا $۳/۰\times۱۰^{۸}\text{m/s}$ و در آب $۲/۲۵\times۱۰^{۸}\text{m/s}$ فرض کنید.)

۲۱. جنبهٔ موجی با بسامد ۱۰ Hz در یک محیط که تندی انتشار موج در آن ۱۰۰m/s است، نوسان‌های طولی ایجاد می‌کند. اگر دامنهٔ نوسان‌ها ۲/۰ cm باشد،
الف) فاصلهٔ بین دو تراکم متوالی این موج چقدر است؟
ب) فاصلهٔ بین یک تراکم و یک انبساط متوالی چقدر است؟

۲۲. غلرت‌های ماسه‌ای وجود طعمه را با امواجی که بر اثر حرکت طعمه در ساحل تنش ایجاد می‌شود، احساس می‌کنند. این امواج که در سطح ماسه منتشر می‌شوند، بر دو نوع‌اند: امواج عرضی با تندی $v_{۱}=۵۰\text{m/s}$ و امواج طولی با تندی $v_{۲}=۱۵۰\text{m/s}$. غلرت 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 اختلاف‌زمان برابر $\Delta t=۴/۰\text{ms}$ باشد، طعمه در چه فاصله‌ای از غلرت قرار دارد؟

۲۳. توضیح دهید کدام یک از عامل‌های زیر بر تندی صوت در هوا مؤثر است.
الف) شکل موج ب) دامنهٔ موج پ) بسامد موج ت) دمای هوا

۲۴. در سونوگرافی معمولاً از کاوه‌ای[۱] دستی موسوم به ترآکدار فراصوتی[۲] برای تشخیص تومورهای پزشکی استفاده می‌شود که دقیقاً روی ناحیهٔ مورد نظر از بدن بیمار گذاشته و حرکت داده می‌شود. این کاوه در بسامد ۶/۷۷MHz عمل می‌کند.
الف) بسامد زاویه‌ای در این کاوهٔ نوسان چقدر است؟
ب) اگر تندی موج صوتی در بافتی نرم از بدن ۱۵۰۰m/s باشد، طول‌موج این موج در این بافت چقدر است؟

۱. probe
۲. Ultrasonic Transducer

۸۷

فصل ۳: نوسان و موج

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

پرتوهای γ	پرتوهای X	P	Q	R	S

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 x انتقال می‌دهد. جهت میدان مغناطیسی موج را در این نقطه و این لحظه تعیین کنید.

۲۰. الف) طول‌موج نور نارنجی در هوا حدود $۶/۲ \times ۱۰^{-۷}\,m$ است. بسامد این نور چند هرتز است؟
ب) بسامد نور قرمز در حدود $۴/۳ \times ۱۰^{۱۴}\,Hz$ است. طول‌موج این نور را در هوا و آب حساب کنید. (سرعت نور را در هوا $۳/۰ \times ۱۰^{۸}\,m/s$ و در آب $۲/۲۵ \times ۱۰^{۸}\,m/s$ فرض کنید.)

۲۱. جسمهٔ موجی با بسامد ۱۰ Hz در یک محیط که تندی انتشار موج در آن ۱۰۰ m/s است، نوسان‌های طولی ایجاد می‌کند. اگر دامنهٔ نوسان‌ها ۴/۰ cm باشد،
الف) فاصلهٔ بین دو تراکم متوالی این موج چقدر است؟
ب) فاصلهٔ بین یک تراکم و یک انبساط متوالی چقدر است؟

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 $v_T = ۵۰\,m/s$ و امواج طولی با تندی $v_L = ۱۵۰\,m/s$. 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 اختلاف‌زمان برابر $\Delta t = ۴/۰\,ms$ باشد، طعمه در چه فاصله‌ای از عقرب قرار دارد؟

۲۳. توضیح دهید کدام یک از عامل‌های زیر بر تندی صوت در هوا مؤثر است.
الف) شکل موج ب) دامنهٔ موج پ) بسامد موج ت) دمای هوا

۲۴. در سونوگرافی معمولاً از کاوه‌ای[1] دستی موسوم به ترانگدار فراصوتی[2] 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 کاوه نوسان چقدر است؟
ب) اگر تندی موج صوتی در بافتی نرم از بدن ۱۵۰۰ m/s باشد، طول‌موج این موج در این بافت چقدر است؟

۱- probe
۲- Ultrasonic Transducer

۸۷

۲۱ از رابطهٔ $\lambda = v/f$، طول موج را به دست می‌آوریم :

$$\lambda = \frac{۱۰۰\,m/s}{۱۰\,s^{-۱}} = ۱۰\,m$$

الف) فاصلهٔ بین دو تراکم متوالی همان طول موج است.
ب) فاصلهٔ بین یک تراکم و یک انبساط متوالی $۵/۰\,m = ۱/۲\,\lambda$ می‌شود.

۲۲ براساس آنچه در شکل آمده است درمی‌یابیم مسافت d برابر است با

$$d = v_L t_L = v_T t_T$$

که در آن v_L و v_T به ترتیب تندی امواج طولی و عرضی، و t_L و t_T به ترتیب زمان رسیدن امواج طولی و عرضی است. از هر کدام از فرمول‌های سمت راست می‌توانیم مسافت d را تعیین کنیم. اما t_L یا t_T را نداریم. با توجه به اینکه $\Delta t = t_T - t_L$ داده شده است، می‌توانیم t_L یا t_T را به دست آوریم :

$$\Delta t = t_T - t_L = t_T - t_T \frac{v_T}{v_L} = t_T(۱ - \frac{v_T}{v_L})$$

$$= t_T(۱ - \frac{۵۰\,m/s}{۱۵۰\,m/s}) = \frac{۲}{۳} t_T = ۴/۰\,ms$$

و از آنجا $t_T = ۶/۰\,ms$ می‌شود و در نتیجه

$$d = v_T\, t_T = (۵۰\ m/s)\ (۶/۰ \times ۱۰^{-۳}\,s) = ۰/۳۰\,m = ۳۰\,cm$$

۲۳ همان‌طور که در متن درس آمده است، از گزینه‌های داده شده تنها دمای هوا بر تندی صوت تأثیر می‌گذارد. البته در حالت کلی عوامل مؤثر بر تندی صوت، تراکم‌پذیری و چگالی محیط است که این برای گازهای کامل که هوا نیز با تقریب خوبی چنین است، متناسب با جذر دمای گاز در مقیاس کلوین می‌شود.

۲۴ الف) بسامد زاویه‌ای برابر است با

$$\omega = ۲\pi f = ۲\pi\,(۶/۷ \times ۱۰^{۶}\,s^{-۱}) = ۴/۲۱ \times ۱۰^{۷}\,rad/s \approx ۴/۲ \times ۱۰^{۷}\,rad/s$$

توجه کنید که مقدار ω بسیار زیاد است و این به معنای نوسان‌های بسیار سریع کاوه است. در حالی که برای یک نوسانگر کُند، مانند آونگ یک ساعت پاندولی، ماجرا برعکس است و دورهٔ تناوب زیاد و بسامد پایین است.
ب) از رابطهٔ $\lambda = v/f$ داریم :

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{۱۵۰۰\,m/s}{۶/۷ \times ۱۰^{۶}\,s^{-۱}} = ۲/۲۳ \times ۱۰^{-۴}\,m \approx ۲/۲ \times ۱۰^{-۴}\,m$$

۲۵ الف) برای Δt داریم :

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

ب) از رابطهٔ به دست آمده در قسمت الف، L را به دست می‌آوریم :

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

که در آن $v_{\text{فلز}}$ همان تندی صوت در فولاد است. از جدول ۳ـ۱ کتاب، این تندی را برابر $5941\,\text{m/s}$ در می‌یابیم. در نتیجه برای L داریم :

$$L = \frac{(0/0\,\text{s})(5941\,\text{m/s})(340\,\text{m/s})}{5941\,\text{m/s} - 340\,\text{m/s}} = 360/3\,\text{m} \approx 361\,\text{m}$$

۲۶ از رابطهٔ $I = \overline{P}/A$ استفاده می‌کنیم. به ترتیب در محل صفحه‌ها داریم :

$$I_1 = \frac{\overline{P}}{A_1} = \frac{1/2\times10^{-4}\,\text{W}}{4/0\,\text{m}^2} = 3/0\times10^{-5}\,\text{W/m}^2$$

$$I_2 = \frac{\overline{P}}{A_2} = \frac{1/2\times10^{-4}\,\text{W}}{12\,\text{m}^2} = 1/0\times10^{-5}\,\text{W/m}^2$$

گرچه توان عبوری از سطوح برابر است، ولی شنوندهٔ دوم توان بر واحد سطح کمتری از شنوندهٔ اول دریافت می‌کند.

۲۷ تراز شدت صوت از رابطهٔ زیر به دست می‌آید :

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

که در آن $I_0 = 1/00\times10^{-12}\,\text{W/m}^2$ است. بنابراین β به ازای $I = 1/0\times10^{-2}\,\text{W/m}^2$ چنین می‌شود

$$\beta = (10\,\text{dB})\log\left(\frac{1/0\times10^{-2}\,\text{W/m}^2}{1/00\times10^{-12}\,\text{W/m}^2}\right) = 1/0\times10^{2}\,\text{dB}$$

۲۸ اهمیت این مسئله، بیش از حل آن، به محتوای آن بازمی‌گردد. در واقع اگر مدتی طولانی در معرض صدایی با تراز شدت بالایی قرار گیریم، آستانهٔ شنوایی ما ممکن است به طور دائم افزایش یابد. در هر حال، حل مسئله که نیاز به ماشین حسابی با قابلیت چنین محاسباتی دارد چنین است :

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

و از آنجا

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

که به ترتیب به ازای $\beta_1 = 28\,\text{dB}$ و $\beta_2 = 92\,\text{dB}$ چنین به دست می‌دهد :

$$I_1 = (1/00\times10^{-12}\,\text{W/m}^2)\, 10^{\left(\frac{28\,\text{dB}}{10\,\text{dB}}\right)} = 6/31\times10^{-10}\,\text{W/m}^2$$

$\approx ۶/۳ \times ۱۰^{-۱۰}\ \mathrm{W/m^۲}$

$$I_۲ = (۱/۰۰ \times ۱۰^{-۱۲}\mathrm{W/m^۲})\,۱۰^{\frac{۹۲\mathrm{dB}}{۱۰\mathrm{dB}}} = ۱/۵۸ \times ۱۰^{-۳}\ \mathrm{W/m^۲}$$
$$\approx ۱/۶ \times ۱۰^{-۳}\ \mathrm{W/m^۲}$$

۲۹ نخست تفاضل βها را محاسبه می‌کنیم.

$$\beta_۲ - \beta_۱ = (۱۰\,\mathrm{dB})\log(\frac{I_۲}{I_۰}) - (۱۰\,\mathrm{dB})\log(\frac{I_۱}{I_۰})$$
$$= (۱۰\,\mathrm{dB})\log(\frac{I_۲}{I_۱})$$

و از آنجا

$$\frac{I_۲}{I_۱} = ۱۰^{۰/۵۰} = ۳/۱۶ \approx ۳/۲$$

۳۰ از رابطهٔ $I = \overline{P}/A$ استفاده می‌کنیم که در اینجا $A = ۴\pi r^۲$ است. بنابراین داریم:

$$\frac{I_۱}{I_۲} = \frac{\frac{\overline{P}}{۴\pi r_۱^۲}}{\frac{\overline{P}}{۴\pi r_۲^۲}} = \frac{r_۲^۲}{r_۱^۲} = (\frac{۱۶۰\,\mathrm{m}}{۶۴۰\,\mathrm{m}})^۲ = (\frac{۱}{۴})^۲$$

و در نتیجه

$$I_۲ = ۱۶\, I_۱ = ۱۶\,(۰/۱۰\ \mathrm{W/m^۲}) = ۱/۶\ \mathrm{W/m^۲}$$

۳۱ همان‌طور که از شکل مشخص است دامنهٔ A دو برابر دامنهٔ B است. همچنین طول موج B دو برابر طول موج A است. از طرفی، طبق رابطهٔ $f = v/\lambda$ درمی‌یابیم که بسامد B نصف بسامد A است. در مورد شدت نیز با توجه به اینکه طبق رابطهٔ $I = \overline{P}/A$، شدت با توان متوسط $\overline{\ }$ متناسب است و نیز همان‌طور که در متن درس اشاره کردیم توان متوسط با مربع بسامد و دامنه متناسب است، بنابراین داریم:

$$\frac{I_B}{I_A} = \left(\frac{A_B^۲ f_B^۲}{A_A^۲ f_A^۲}\right) = \left(\frac{A_B}{A_A}\right)^۲ \left(\frac{f_B}{f_A}\right)^۲ = (\frac{۱}{۲})^۲ (\frac{۱}{۲})^۲ = \frac{۱}{۱۶}$$

یعنی شدت موج صوتی A، ۱۶ برابر شدت موج صوتی B است.

۳۲ در حالت‌های (ب) و (پ) ناظر ساکن و چشمه متحرک است که این حالتی است که در وضعیت الف اثر دوپلر در متن درس آن را بررسی کردیم. بنابراین همان استدلال را به‌کار می‌گیریم. اگر چشمه به طرف ناظر حرکت کند (حالت ب)، تجمع جبهه‌های موج در جلوی آن بیشتر خواهد شد و بنابراین ناظر ساکن روبه‌روی آن طول موج کوتاه‌تری نسبت به وضعیتی که چشمه، ساکن بود اندازه می‌گیرد که این به معنی افزایش بسامد برای این ناظر است. با استدلالی مشابه درمی‌یابیم که با دور شدن چشمه، از بسامدی که ناظر اندازه می‌گیرد کم می‌شود و بنابراین در حالت (پ) کاهش بسامد داریم. حالت‌های (ت) و (ث) نیز همان وضعیتی هستند که در حالت ب اثر دوپلر در متن درس آن را بررسی کردیم. در این وضعیت‌ها تجمع جبهه‌های موج تغییر نمی‌کند، و اگر مانند حالت (ث) ناظر به هدف چشمه حرکت کند با جبهه‌های موج بیشتری مواجه می‌شود که به معنی افزایش بسامد است. ولی اگر ناظر مانند حالت

(ت) از چشمه دور شود به معنی کاهش بسامد خواهد بود. در این مسئله می‌شد حالت‌های زیر را نیز از دانش‌آموزان پرسید. وضعیت‌هایی که چشمه و آشکارساز رودررو به سمت یکدیگر نزدیک می‌شوند و وضعیت‌هایی که چشمه و آشکارساز در خلاف جهت از هم دور می‌شوند. در این صورت با تلفیق هر دو استدلال بالا درمی‌یابیم که در وضعیتی که هر دو به هم نزدیک می‌شوند، بسامد دریافتی بیشتر و در وضعیتی که از هم دور می‌شوند، بسامد دریافتی کوچک‌تر می‌شود.

فیزیک ۳۰

۴۵. تندی صوت در یک فلز خاص، برابر v_0 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_0 باشد، بازهٔ زمانی Δt بین دریافت این دو صدا در گوش شنونده چقدر خواهد بود؟
ب) اگر $\Delta t = ۰/۰۰۸\,s$ و فلز از جنس فولاد باشد، طول L لوله چقدر است؟ $(v_0 = ۳۲۰\,m/s)$

۴۶. موجی صوتی با توان $۱/۲\times۱۰^{-۴}\,W$ از دو صفحهٔ فرضی شکل ۲۶ـ۳ می‌گذرد. با فرض اینکه مساحت صفحه‌ها به‌ترتیب $A_1=۴/۰\,m^2$ و $A_2=۱۲\,m^2$ باشد، شدت صوت در دو سطح را تعیین کنید و توضیح دهید چرا شنونده در محل صفحهٔ دوم، صدا را آهسته‌تر می‌شنود.

۴۷. شدت صدای حاصل از یک متهٔ سنگ‌شکن در فاصلهٔ ۱۰/۰ m از آن $۱/۰\times۱۰^{-۳}\,W/m^2$ است. تراز شدت صوتی آن برحسب dB چقدر می‌شود؟

۴۸. اگر به مدت ۱۰ دقیقه در معرض صوتی با تراز شدت ۹۲۰ dB باشیم، آستانهٔ شنوایی به‌طور موقت از dB۰ به ۲۸dB افزایش می‌یابد. مطالعات نشان داده است که به‌طور متوسط اگر به مدت ۱۰ سال در معرض صدایی با تراز شدت ۹۲dB قرار گیریم، آستانهٔ شنوایی به‌طور دائم به ۲۸dB افزایش می‌یابد. شدت‌های صوت مربوط به ۲۸dB و ۹۲dB چقدر است؟ (راهنمایی: برای یافتن لازم است از ماشین‌حساب مناسب استفاده کنید.)

۴۹. یک دستگاه صوتی، صدایی با تراز شدت $\beta_1=۹۰/۰\,dB$ و دستگاه صوتی دیگر، صدایی با تراز شدت $\beta_2=۹۵/۰\,dB$ ایجاد می‌کند. شدت‌های مربوط به این دو تراز ابرحسب (W/m^2) به ترتیب I_1 و I_2 هستند. نسبت I_2/I_1 را تعیین کنید.

۵۰. در یک آتش‌بازی، موشکی در بالای آسمان متفجر می‌شود. فرض کنید صوت به‌طور 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 چشم‌پوشی کنید. با فرض اینکه صوت با شدت $I=۰/۰۱\,W/m^2$ به شنونده‌ای برسد که به فاصلهٔ $r_1=۶۴۰\,m$ از محل انفجار قرار دارد، این صوت به شنونده‌ای که در فاصلهٔ $r_2=۱۶۰\,m$ از محل انفجار قرار دارد با چه شدتی می‌رسد؟

۵۱. نمودار جابه‌جایی ـ مکان دو موج صوتی A و B که در یک محیط منتشر شده‌اند، به‌صورت زیر است. دامنه، طول‌موج، بسامد و شدت این دو موج صوتی را با هم مقایسه کنید.

۵۲. شکل زیر جهت‌های حرکت یک چشمهٔ صوتی و یک ناظر (شنونده) را در وضعیت‌های مختلف نشان می‌دهد.

	ناظر (شنونده)	چشمه
(الف)	•	•
(ب)	•	↔
(پ)	•	↔
(ت)	↔	•
(ث)	↔	•
(ج)	↔	↔
(چ)	↔	↔

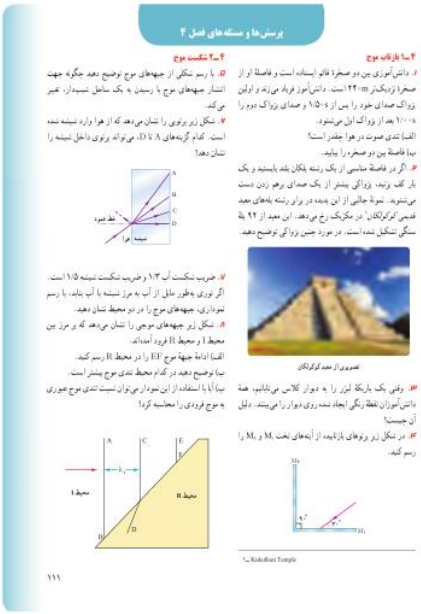
بسامدی را که ناظر در حالت‌های مختلف می‌شنود با حالت الف مقایسه کنید.

۸۸

ادامه تمارین فصل سوم رشته تجربی
تمارین فصل چهارم رشته ریاضی

(قسمت پراش و تداخل مخصوص رشته ریاضی می باشد)

راهنمای پاسخ‌یابی پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۴


پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۴

۴-۱ بازتاب موج

۱. دانش‌آموزی بین دو صخرهٔ قائم ایستاده است و فاصلهٔ او از صخرهٔ نزدیک‌تر ۲۴۰ m است. دانش‌آموز فریاد می‌زند و اولین پژواک صدای خود را پس از ۱/۵۰ s و صدای پژواک دوم را ۱/۰۰ s بعد از پژواک اول می‌شنود.
الف) تندی صوت در هوا چقدر است؟
ب) فاصلهٔ بین دو صخره را بیابید.

۲. اگر در فاصلهٔ مناسبی از یک رشته پلکان 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[1] در مکزیک رخ می‌دهد. این معبد از ۹۲ پلهٔ سنگی تشکیل شده است. در مورد چنین پژواکی توضیح دهید.

تصویری از معبد کوکولکان

۳. وقتی یک بازیکنِ لیز را به دیوار کلاس می‌تابانید، همهٔ دانش‌آموزان نقطهٔ رنگی ایجاد شده روی دیوار را می‌بینند. دلیل آن چیست؟

۴. در شکل زیر پرتوهای بازتابیده از آینه‌های تخت M_1 و M_2 را رسم کنید.

۴-۲ شکست موج

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

۶. شکل زیر پرتوی را نشان می‌دهد که از هوا وارد شیشه شده است. کدام گزینه‌های A تا D، می‌تواند پرتوی داخل شیشه را نشان دهد؟

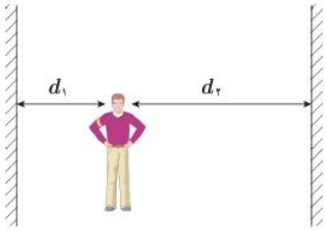
۷. ضریب شکست آب ۱/۳ و ضریب شکست شیشه ۱/۵ است.
اگر نوری به‌طور مایل از آب به مرز شیشه با آب بتابد، با رسم نموداری، جبهه‌های موج را در دو محیط نشان دهید.

۸. شکل زیر جبهه‌های موجی را نشان می‌دهد که بر مرز بین محیط I و محیط II فرود آمده‌اند.
الف) ادامهٔ جبهه موج EF را در محیط II رسم کنید.
ب) توضیح دهید در کدام محیط تندی موج بیشتر است.
پ) آیا با استفاده از این نمودار می‌توان نسبت تندی موج عبوری به موج فرودی را محاسبه کرد؟

محیط I
محیط II

۱۱۱

۱ در واقع شکلی مانند شکل زیر داریم، به‌طوری که d_1 فاصلهٔ شخص از صخرهٔ نزدیک‌تر و d_2 فاصلهٔ شخص از صخرهٔ دورتر است.



بدیهی است که پژواک صدای اول مربوط به صخرهٔ نزدیک‌تر و زمان دریافت آن ۱/۵۰ s پس از فریاد زدن و پژواک صدای دوم مربوط به صخرهٔ دورتر و زمان دریافت آن ۲/۵۰ s = ۱/۰۰ s + ۱/۵۰ s پس از فریاد زدن است. چون مسافت پیموده شده در هر پژواک $2d$ است، به ترتیب داریم :

$$2d_1 = vt_1 \quad , \quad 2d_2 = vt_2$$

(الف) تندی صوت را از رابطهٔ اول به‌دست می‌آوریم

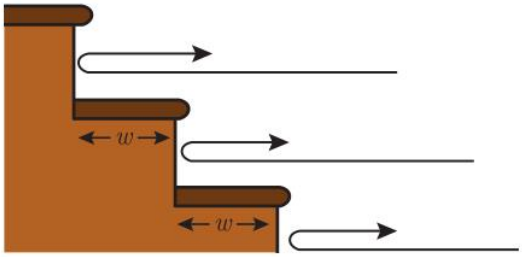
$$v = \frac{2d_1}{t_1} = \frac{480\,\text{m}}{1/50\,\text{s}} = 320\,\text{m/s}$$

(ب) اکنون با دانستن تندی v می‌توانیم با استفاده از رابطهٔ دوم، d_2 را محاسبه کنیم :

$$d_2 = \frac{vt_2}{2} = \frac{(320\,\text{m/s})(2/50\,\text{s})}{2} = 400\,\text{m}$$

پس فاصلهٔ بین دو صخره $d = d_1 + d_2 = 640\,\text{m}$ است.

۲ اگر فاصلهٔ شما از پلکان به حدّ کافی زیاد باشد، به‌طوری که بتوان مانند شکل زیر مسیر تپ‌های متوالی را تقریباً موازی در نظر گرفت، شما بسامد ثابتی برای رشته تپ‌های متوالی درک می‌کنید.



مثلاً اگر پهنای هر پله $w = 0/750$ باشد، بسامد ادراکی

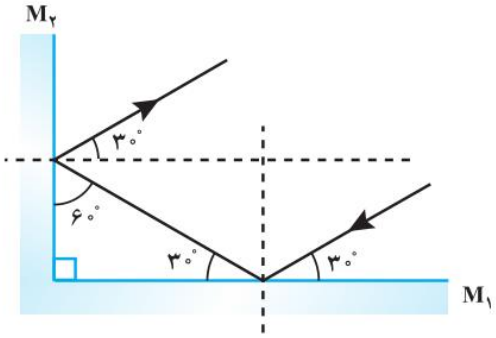
$$f = \frac{1}{\Delta t} = \frac{v}{2w} = \frac{340\,\text{m/s}}{2(0/75\,\text{m})} = 2/27 \times 10^2\,\text{Hz} \approx 2/3 \times 10^2\,\text{Hz}$$

یا به عبارتی ۲۳۰ Hz می‌شود. این صدا به‌صورت رشته‌ای دوره‌ای از تپ‌ها بازمی‌گردد و مانند یک نُت نواخته شده درک می‌شود. بدیهی است اگر پهنای پله‌ها کوچک‌تر باشد، با توجه به اینکه $f \propto \frac{1}{w}$ است، بسامد ادراک‌شده بیشتر می‌شود.

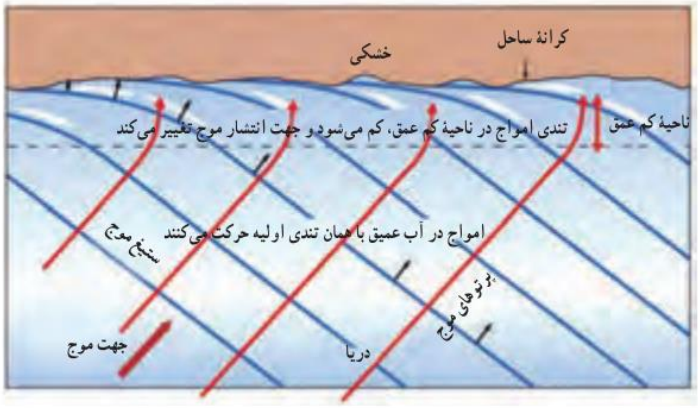
البته در واقع امر، مسیر تپ‌های متوالی که هر کدام از یک پله نشأت گرفته‌اند، موازی نیست و بسامد ثابتی را برای رشته تپ‌های متوالی درک نمی‌کنید؛ بلکه گستره‌ای از بسامدها را درک می‌کنید که به تدریج کم می‌شوند. به‌طوری که بسامد دریافتی از پله‌های پایینی (که تپ‌های بازتابیده از آنها را زودتر می‌شنویم) بیشتر از بسامد دریافتی از پله‌های بالایی است (که تپ‌های بازتابیده از آنها را دیرتر می‌شنویم) و بدین ترتیب صدا را به‌صورت رشته‌ای دوره‌ای از تپ‌ها می‌شنوید.

۳ همان‌طور که در متن کتاب اشاره شد، این ناشی از بازتاب پخشنده است.

۴ شکلی مانند شکل زیر خواهیم داشت.

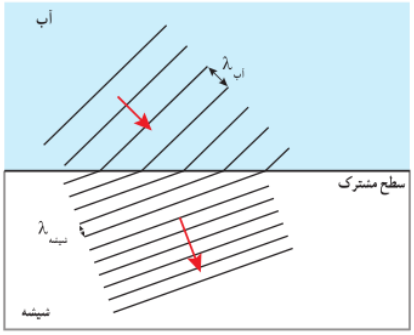


۵ شکلی مانند شکل زیر خواهیم داشت. با نزدیک شدن امواج به یک ساحل شیبدار و رسیدن جبهه‌های موج به ساحل که در آنجا عمق آب کم می‌شود، جهت انتشار موج تغییر می‌کند. به عبارتی، با ورود امواج از ناحیهٔ عمیق به ناحیهٔ کم‌عمق، تندی آنها کم می‌شود.



۶ شیشه ضریب شکست بزرگ‌تری نسبت به هوا دارد. بنابراین انتظار می‌رود که پرتوی شکسته شده در شیشه به خطّ عمود نزدیک شود. بنابراین پرتوی A نمی‌تواند درست باشد، زیرا از خطّ عمود دور شده است. اگر نور از شیشه وارد هوا می‌شد، این گزینهٔ درستی بود. پرتوی B نیز پاسخ درستی نیست، زیرا این پرتو خم نشده است و در امتداد پرتوی فرودی است. پرتوی C پاسخ درست است زیرا به سمت خطّ عمود کج شده است. ولی چرا پرتوی D نادرست است. توجه کنید که برای این پرتو، زاویهٔ شکست $\theta_2 = 0$ است و بنابراین $\sin\theta_2 = 0$ خواهد که این قانون اسنل را نقض می‌کند که در اینجا بیان می‌دارد $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$.

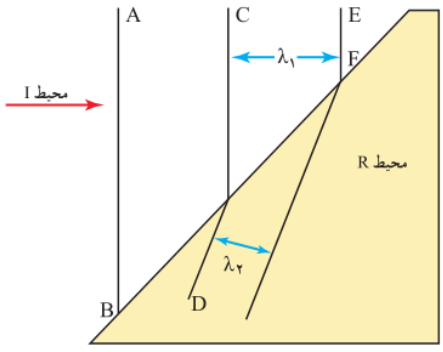
۷ شکلی مطابق شکل زیر خواهیم داشت (البته در این شکل فاصلهٔ بین جبهه‌های موج در دو محیط به مقیاس نیست، ولی در هر حال، $\lambda_{\text{آب}} > \lambda_{\text{شیشه}}$ است).



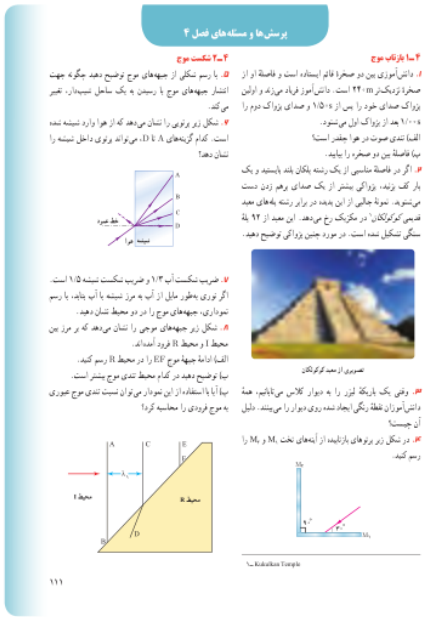
۸ الف) ادامهٔ موج EF، پرتوی شکسته شده در محیط B است که باید موازی با D باشد. به عبارتی، پرتوهای شکسته باید موازی هم باشند.

ب) با عبور موج از محیطی به محیط دیگر، بسامد موج تغییر نمی‌کند. بنابراین نسبت $\frac{v}{\lambda}$ ثابت می‌ماند و داریم

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



از روی شکل درمی‌یابیم که $\lambda_2 < \lambda_1$ و بنابراین $v_1 > v_2$ است. به عبارتی با دانستن فاصلهٔ بین جبهه‌های موج در دو محیط می‌توان دربارهٔ نسبت تندی موج در دو محیط اظهار نظر کرد. مثلاً برای شکل داده شده در این مسئله نسبت λ_1 به λ_2 تقریباً ۱/۶ می‌شود که همان نسبت v_1 به v_2 نیز هست.


پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۴

۴-۱ بازتاب موج

۱. دانش‌آموزی بین دو صخرهٔ قائم ایستاده، است و فاصلهٔ او از صخرهٔ نزدیک‌تر ۴۲۰ m است. دانش‌آموز فریاد می‌زند و اولین بازتاب صدای خود را پس از ۱/۵ s و صدای بازتاب دوم را ۱/۰۰ s بعد از بازتاب اول می‌شنود.
الف) تندی صوت در هوا چقدر است؟
ب) فاصلهٔ بین دو صخره را بیابید.

۲. اگر در فاصلهٔ مناسبی از یک رشته پلکان بلند بایستید و یک بار کف بزنید، بازتابی بیشتر از یک صدای برهم زدن دست می‌شنوید. نمونهٔ جالبی از این پدیده در برابر رشته پله‌های معبد قدیمی کوکولکان[1] در مکزیک رخ می‌دهد. این معبد از ۹۲ پلهٔ سنگی تشکیل شده است. در مورد چنین بازتابی توضیح دهید.

تصویری از معبد کوکولکان

۳. وقتی یک باریکهٔ لیزر را به دیوار کلاس می‌تابانید، همهٔ دانش‌آموزان نقطهٔ رنگی ایجاد شده روی دیوار را می‌بینند. دلیل آن چیست؟

۴. در شکل زیر پرتوهای بازتابیده از آینه‌های تخت M_1 و M_2 را رسم کنید.

۴-۲ شکست موج

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

۶. شکل زیر پرتویی را نشان می‌دهد که از هوا وارد شیشه شده است. کدام گزینه‌های A ،B ،C ،D، می‌تواند پرتوی داخل شیشه را نشان دهد؟

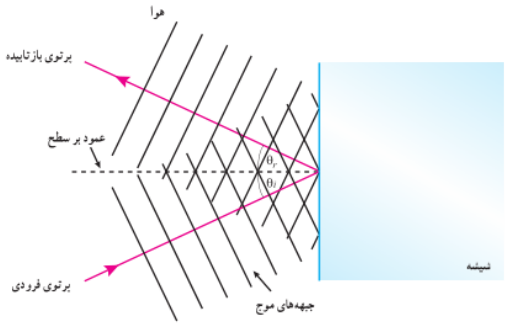
۷. ضریب شکست آب ۱/۳ و ضریب شکست شیشه ۱/۵ است. اگر نوری به‌طور مایل از آب به مرز شیشه با آب بتابد، با رسم نمودار، جبهه‌های موج را در دو محیط نشان دهید.

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.
ب) توضیح دهید در کدام محیط تندی موج بیشتر است.
ج) آیا با استفاده از این نمودار می‌توان نسبت تندی موج عبوری به موج فرودی را محاسبه کرد؟

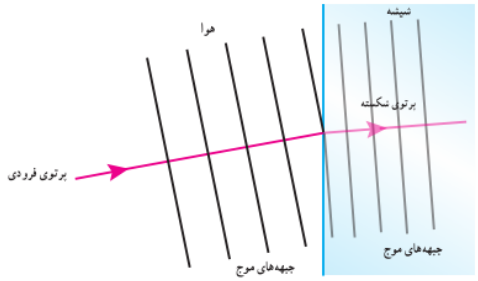
۱۱۱

۹ الف) برای موج شکسته، به جز بسامد سایر مشخصه‌ها با موج فرودی متفاوت است. چرا که تندی و طول موج (همان‌طور که در تمرین ۸ هم دیدیم) تغییر می‌کنند و این دو به ضریب شکست بستگی دارند. در حالی که برای موج بازتابیده، بسامد، طول موج و تندی با موج فرودی برابر است.

ب) امتداد پرتوها بر اثر شکست تفاوت پیدا می‌کند. شکل پرتویی این مسئله را در تمرین ۶ مشاهده کردیم و گفتیم که پرتوی شکسته شده باید به خطّ عمود نزدیک شود. در حل چنین مسائلی نخست پرتوی موج را رسم کنید و سپس جبهه‌های موج را به‌گونه‌ای رسم کنیم که این پرتو عمود بر آنها باشد. در مورد جبهه‌های موج بازتابیده، چون در خود محیط بازتابیده می‌شوند، فاصلهٔ خطوط تغییر نمی‌کند و بنابراین برای موج بازتابیده شکلی مانند زیر خواهیم داشت.



برای جبهه‌های موج شکست یافته نیز نخست یک پرتوی شکست یافته را رسم می‌کنیم و سپس جبهه‌های موج مربوط به آن را نشان می‌دهیم. توجه کنید که فاصلهٔ جبهه‌های موج در شیشه، کوتاه‌تر است.



۱۰ الف) بسامد را از رابطهٔ $f=v/\lambda$ محاسبه می‌کنیم که در آن $v=c$ تندی نور است :

$$f=\frac{v}{\lambda}=\frac{c}{\lambda_{\circ}}=\frac{۳/۰۰\times۱۰^{۸}\,m/s}{۶۳۳\times۱۰^{-۹}\,m}=۴/۷۳۹\times۱۰^{۱۴}\,Hz\approx۴/۷۴\times۱۰^{۱۴}\,Hz$$

ب)

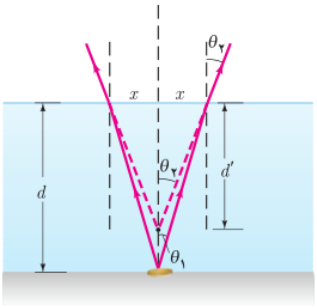
$$n=\frac{\lambda_{\circ}}{\lambda}=\frac{۶۳۳\times۱۰^{-۹}\,m}{۴۷۴\times۱۰^{-۹}\,m}=۱/۳۳۵\approx۱/۳۴$$

$$v = \frac{c}{n} = \frac{۳/۰۰\times۱۰^{۸}\,m/s}{۱/۳۳۵} =$$

(پ)

$$= ۲/۲۴۷\times۱۰^{۸}\,m/s \approx ۲/۲۵\times۱۰^{۸}\,m/s$$

۱۱ نخست شاید بهتر باشد دید از بالا را بررسی کنیم تا با رسم نموداری پرتویی به حسی از این مطلب برسید. دو پرتو از نقطه‌ای از سکه رسم می‌کنیم که در زاویهٔ کوچکی از خطّ عمود بر سطح آب قرار دارند. به دلیل شکسته شدن پرتوها و ورود آنها از محیطی با ضریب شکست بیشتر به محیطی با ضریب شکست کمتر، آنها در محل خروج از سطح آب، از خطّ عمود دور می‌شوند و این طور به نظر می‌رسد که امتداد آنها در نقطه‌ای بالاتر از کف فنجان همدیگر را قطع می‌کنند (که با رسم خط‌چین‌هایی نشان داده شده است). همین باعث می‌شود عمق فنجان را کمتر ببینیم.



به‌طور محاسبه‌ای هم می‌توانیم رابطه‌ای به‌دست آوریم. چون در این وضعیت زاویه ها کوچک اند (که البته در شکل با اغراق بزرگ کشیده شده اند) داریم $\sin\theta \approx \tan\theta$ و در نتیجه از قانون اسنل داریم

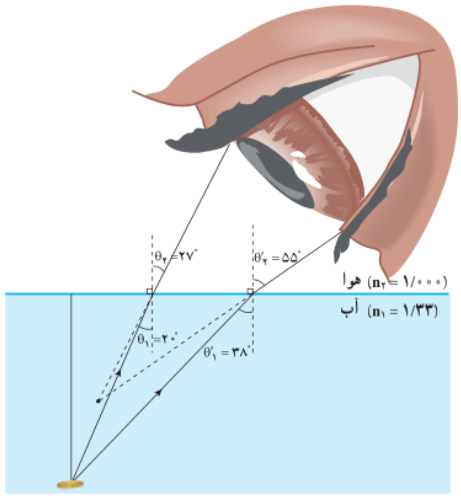
$$\tan\theta_2 \approx n_1 \tan\theta_1 \Rightarrow \frac{x}{d'} \approx n_1 \frac{x}{d}$$

و در نتیجه $\frac{}{} \approx {}'$.

بنابراین برای شخصی که تقریباً به‌طور عمود نگاه می‌کند، عمق ظاهری $\frac{1}{n}$ عمق واقعی می‌شود ولی توجه کنید که در این حالت جابه‌جایی افقی ناچیز است. ولی اگر کسی به‌طور مایل نگاه کند، افزون بر جابه‌جایی قائم، یک جابه‌جایی افقی نیز وجود دارد و همان‌طور که در شکل زیر برای داده‌هایی خاص نشان داده شده است، تصویر در هر دو امتداد قائم و افقی به ناظر نزدیک می‌شود. البته محل این تصویر یکتا نیست و هر چه پرتوهایی که به چشم ناظر می‌رسند افقی‌تر گردند، تصویر به ناظر نزدیک‌تر می‌گردد که بدیهی است بیشترین آن برای پرتوهایی است که نزدیک به زاویهٔ حد به سطح جدایی می‌تابند.

۱۲ از قانون اسنل استفاده می‌کنیم :

$$n_1\sin\theta_1 = n_2\sin\theta_2$$



که در اینجا n_1 و n_2 به ترتیب ضریب شکست آب و هوا، و θ_1 و θ_2 به ترتیب زاویهٔ پرتوی نور نسبت به *امتداد قائم* در محیط‌های آب‌وهوا است. بنابراین داریم

$$\sin\theta_2 = \frac{n_1 \sin\theta_1}{n_2} = \frac{(1/33)\sin 30^\circ}{1/00} = 0/665$$

و از آنجا $\theta_2 = 41/7^\circ \approx 42^\circ$ می‌شود.

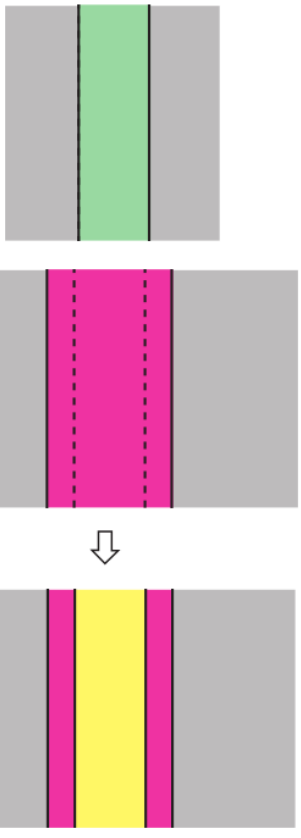
۱۳ نخست توجه کنید عددهای داده شده برای ضریب شکست‌ها صرفاً برای مقایسهٔ دو محیط است و اینکه کدام محیط چگال‌تر است، و نقش دیگری در حل این تمرین ندارد. در پاسخ به این مسئله باید به چند نکته دیگر نیز توجه کرد؛ یکی اینکه با توجه به اینکه نور از محیط با ضریب شکست بیشتر وارد محیط با ضریب شکست کمتر می‌شود باید پرتوهای نور شکسته شده «در سمت درستی» از خطّ عمود دور شوند و دیگر اینکه به پاشندگی نور توجه کنیم و ترتیب و توالی شکست پرتوها درست باشد. بنابراین نخست باید خطّ عمود را رسم کنیم. از آنجا درمی‌یابیم که شکل (ب) اصلاً از لحاظ منطقی نادرست است. پرتوی قرمز تقریباً در امتداد خطّ عمود و پرتوی آبی در سمت نادرست (سمت چپ خطّ عمود) شکسته شده است. شکل (پ) این مشکل را ندارد و پرتوها در سمتی درست شکسته شده‌اند، ولی اگر توجه کنید درمی‌یابید که پرتوی آبی به خطّ عمود نزدیک شده است و بنابراین کلّیت این شکل نیز نادرست است. اما شکل‌های (الف) و (ت) این هر دو مشکل را ندارند، هم پرتوها در سویی مناسب شکسته شده‌اند و هم هر دو پرتو از خطّ عمود دور شده‌اند. منتها همان‌طور که در مبحث پاشندگی دیدیم پرتوی آبی باید بیشتر از پرتوی قرمز شکست پیدا کند و بنابراین پاسخ درست، (ت) است.

۱۴ چون این پرسش در بخش شکست نور مطرح شده است، بنابراین باید به آن با استفاده از دانش ارائه شده در این بخش و با استفاده از پاشندگی نور پاسخ دهیم. با استفاده از یک منشور به‌سادگی می‌توانیم بین این دو نظر، یکی را انتخاب کنیم. اگر نور زرد، ترکیبی باشد در منشور تجزیه می‌شود و می‌توانیم نورهای قرمز و سبز را مشاهده کنیم.

اما با توجه به اینکه در کلّ مجموعهٔ این کتاب، آزمایش یانگ نیز آموزش داده شده است، خوب است تحلیلی مبتنی بر این آزمایش نیز ارائه کنیم. پهنای هر نوار تاریک یا روشن در آزمایش یانگ با طول موج متناسب است و از این نتیجه در تحلیل خود استفاده می‌کنیم. اگر نور زرد به‌کار رفته در آزمایش یانگ تکفام باشد، ما نوارهای تداخلی یک در میان روشن (اینجا زرد) و تیره‌ای خواهیم داشت. ولی اگر نور زرد، ترکیبی از دو نور قرمز و سبز باشد، نوارهایی به چنین وضوحی نخواهیم داشت و نتیجهٔ کار از برهم نهی امواج تداخلی

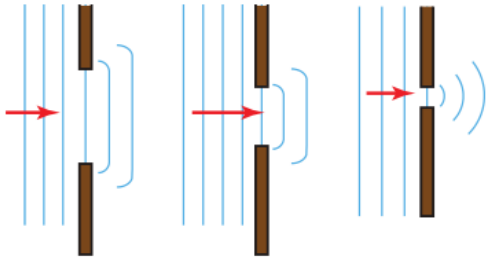
قرمز و سبز حاصل می‌شود. به عبارتی، توجه کنید که اگر نور سبز را نداشتیم، نوارهای تداخلی یک در میان از قرمز و تیره حاصل می‌شد، و اگر نور قرمز را نداشتیم، نوارهای تداخلی یک در میانی از سبز و تیره حاصل می‌شد. حال در حضور این دو نور، نوارهای داخلی آنها روی هم می‌افتد. ولی توجه کنید که این برهم افتادن به‌طوری نیست که نوارها کاملاً برهم منطبق شوند. در واقع چون طول نوارهای تداخلی به طول موج به‌کاررفته مربوط است و هر چه طول موج بزرگ‌تر باشد، آنها نیز طویل‌ترند، بنابراین در همپوشانی، نوارها کاملاً بر هم منطبق نمی‌شوند.

برای مثال، نوار روشن مرکزی را در نظر بگیرید. وقتی نوارهای تداخلی حاصل از نور سبز و حاصل از نور قرمز را بر هم بنهیم، کّل نوار سبز به نوار زرد تبدیل می‌شود، ولی اطراف آن تا سر نوارهای تاریک حاشیه‌های قرمز خواهند داشت. بنابراین نتیجه می‌گیریم که نور زرد ترکیبی باعث نوار مرکزی زرد رنگی می‌شود که کوتاه‌تر از نوار زرد مرکزی حاصل از یک نور زرد تکفام است؛ ضمن آنکه اطراف آن نیز ته رنگ قرمزی می‌گیرد.



(جالب است اگر آزمایش یانگ را با نوری سفید انجام دهیم، همچنان حاشیه‌های نوار مرکزی قرمز خواهد بود، زیرا پهنای این نوار از همه بیشتر است و در میانهٔ نوار مرکزی هم نواری کاملاً سفید خواهیم داشت که از همپوشانی همهٔ رنگ‌های طیف ایجاد شده است و در بین آنها رنگین کمانی از ترکیب رنگ‌های مختلف ایجاد می‌شود. شکل زیر طرحی تقریبی از چنین تصویری را نشان می‌دهد).

۱۵ با باریک کردن پهنای شکاف، پدیدهٔ پراش به‌طور بارزتری خود را نشان می‌دهد و موجی که از شکاف خارج می‌شود از حالت موج تخت بیشتر خارج می‌شود و در حالتی که پهنای شکاف در حدود طول موج باشد موج‌های تخت به‌صورت امواج نیم‌دایره‌ای گسترده می‌شوند.

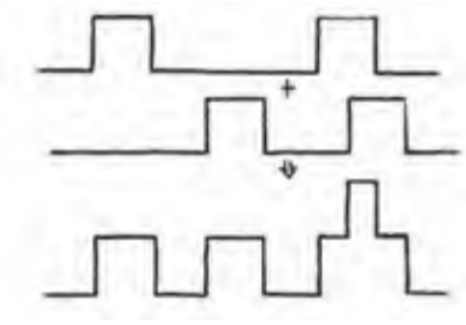


۱۶ نخست طول موج این امواج را محاسبه می‌کنیم :

$$\lambda = v/f = \frac{c}{f} = \frac{۳/۰۰\times۱۰^{۸}\,m/s}{۲\times۱۰^{۹}\,s^{-۱}} = ۰/۱۵m \approx ۰/۱m$$

این امواج از اجسامی به قطری حدود ۱۵cm یا کوچک‌تر، به خوبی پراشیده می‌شوند.

۱۷ از بر هم نهی این دو موج، شکلی مانند زیر حاصل می‌شود :



۱۸ جابه‌جایی کل، جمع‌برداری هر جابه‌جایی مجزا است. چون جابه‌جایی‌های نقطهٔ M در جهت‌های مخالف هم هستند، جمع‌برداری آنها برابر y_1-y_2 می‌شود که چون $y_1>y_2$ است، مقداری مثبت است.

۱۹ در نقطهٔ P قله (ستیغ) موج‌ها همدیگر را قطع کرده‌اند و برهم نهاده شده‌اند و بنابراین تداخل کاملاً سازنده و دامنهٔ موج برایند بیشینه است. اما در نقطهٔ Q قله (ستیغ) یک موج با درّه (پاستیغ) موج دیگر تلاقی کرده است (توجه کنید که Q بر یک منحنی آبی و در میان دو منحنی قرمز است) و بنابراین همدیگر را تضعیف می‌کنند و دامنه کمینه است.

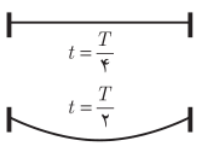
۲۰ الف) چون فاصلهٔ نقطه‌های S و L متناسب با طول موج به‌کار رفته است، بنابراین برای آنکه نقطه‌های S و L به هم نزدیک باشند باید طول موج به کار رفته کوچک باشد. با توجه به اینکه $f=v/\lambda$ است نتیجه می‌گیریم که این معادل با افزایش بسامد صوت است.

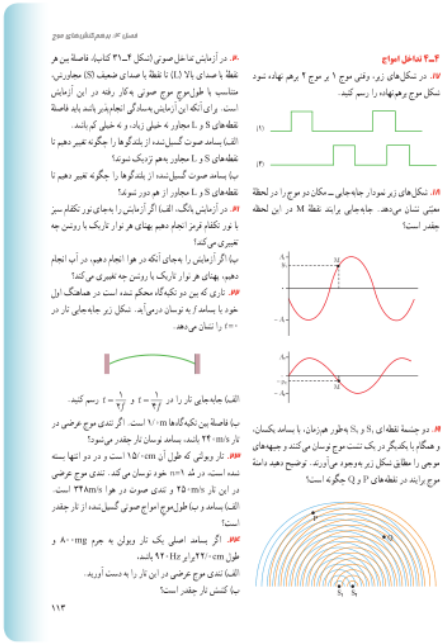
ب) برای آنکه نقطه‌های S و L از هم دور شوند باید طول موج به‌کار رفته بزرگ باشد. با توجه به اینکه $f=v/\lambda$ است نتیجه می‌گیریم که این معادل با کاهش بسامد صوت است.

۲۱ الف) پهنای نوارهای تداخلی در آزمایش یانگ متناسب با طول موج به‌کار رفته است. بنابراین با افزایش طول موج، پهنای نوارها زیاد می‌شود. پس پهنای نوارها با استفاده از نور تکفام قرمز به جای نور تکفام سبز، افزایش می‌یابد.

ب) چون پهنای نوارهای تداخلی با طول موج به‌کار رفته متناسب است، با توجه به اینکه در حضور آب طول موج به λ/n تغییر پیدا می‌کند و کم می‌شود، بنابراین طول موج به‌کار رفته کاهش می‌یابد که این به معنای کاهش پهنای نوارها است. (توجه! در متن درس فقط به رابطهٔ پهنای نوارها با طول موج پرداخته شده است. خوب است بدانید دو راه دیگر تغییر پهنای نوار، یکی تغییر دادن فاصلهٔ شکاف‌ها تا پرده، و دیگری تغییر فاصله شکاف‌ها از هم است.)

۲۲ الف) چون دورهٔ تناوب برابر با عکس بسامد است ($T=1/f$)، بنابراین $t=\frac{1}{4f}$ معادل با $\frac{1}{4}T$ و $t=\frac{1}{2f}$ معادل با $\frac{1}{2}T$ است. به‌عبارتی در زمان $\frac{1}{4}$ دوره گذشته است و در زمان $t=\frac{1}{2f}$، نصف دوره. پس شکل‌ها (در مشابهت با شکل‌های ۴ـ۳۴ کتاب) چنین می‌شوند :




فصل ۴: بررسی‌شناسی‌های موج

۴۰. در آزمایش تداخل صوتی (شکل ۴ـ۳۱ کتاب)، فاصله بین هر نقطهٔ با صدای بالا (L) تا نقطهٔ با صدای ضعیف (S) مجاورش، متناسب با طول‌موج موج صوتی به‌کار رفته در این آزمایش است. برای آنکه این آزمایش به‌سادگی انجام‌پذیر باشد باید فاصلهٔ نقطه‌های S و L مجاور به خیلی زیاد، و به خیلی کم باشد.
الف) بسامد صوت گسیل‌شده از بلندگوها را چگونه تغییر دهیم تا نقطه‌های S و L مجاور به هم نزدیک شوند؟
ب) بسامد صوت گسیل‌شده از بلندگوها را چگونه تغییر دهیم تا نقطه‌های S و L مجاور از هم دور شوند؟

۴۱. در آزمایش بالنگ، الف) اگر آزمایش را به‌جای نور نکفام سبز با نور نکفام قرمز انجام دهیم پهنای هر نوار تاریک یا روشن چه تغییری می‌کند؟
ب) اگر آزمایش را به‌جای آنکه در هوا انجام دهیم، در آب انجام دهیم، پهنای هر نوار تاریک یا روشن چه تغییری می‌کند؟

۴۲. تاری که بین دو تکیه‌گاه محکم بسته 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.

ب) فاصلهٔ بین تکیه‌گاه‌ها ۱٫۰ m است. اگر تندی موج عرضی در تار ۲۴۰ m/s باشد، بسامد نوسان تار چقدر می‌شود؟

۴۳. تار یولنی که طول آن ۱۵/۰ cm است و در دو انتها بسته شده است، در حال n=۱ خود نوسان می‌کند. تندی موج عرضی در این تار ۲۵۰ m/s و تندی صوت در هوا ۳۴۰ m/s است.
الف) بسامد و دامنهٔ موج امواج صوتی گسیل‌شده از تار چقدر است؟

۴۴. اگر بسامد اصلی یک تار ویولن به جرم ۸۰۰ mg و طول ۲۲/۰ cm برابر ۹۲۰ Hz باشد،
الف) تندی موج عرضی در این تار را به دست آورید.
ب) کشش تار چقدر است؟

۱۱۳

۴ـ۴ تداخل امواج

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

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

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

توجه کنید که بسامد موج روی تار همان بسامد موج صوتی است که تولید می‌شود.

ب) همان‌طور که گفتیم f_1 بسامد موج صوتی است و بنابراین برای طول موجِ موج صوتی گسیل‌شده داریم

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{۳۴۸\ \mathrm{m/s}}{۸۳۳/۳\ \mathrm{s^{-1}}} = ۰/۴۱۷۶\mathrm{m} \approx ۰/۴۱۸\mathrm{m}$$

۲۴ الف) دو سر تار بسته است و وقتی در پایین‌ترین بسامد خود نوسان می‌کند، طول آن دقیقاً نصف طول موج است. اگر L طول سیم و λ طول موج باشد، $\lambda = ۲L$ است (این را به‌طور مستقیم از رابطهٔ ۴ـ۴ کتاب نیز می‌توانید ببینید). بسامد برابر $f=v/\lambda=v/۲L$ است که در آن v تندی موج روی تار ویولن است. بنابراین

$$v=۲Lf= ۲(۰/۲۲۰\ \mathrm{m})\ (۹۲۰\mathrm{Hz})= ۴۰۴/۸\mathrm{m/s} \approx ۴۰۵\mathrm{m/s}$$

که البته می‌توانستیم آن را به‌طور مستقیم با استفاده از رابطهٔ ۴ـ۵ نیز به ازای $n=۱$ به‌دست آوریم.

ب) تندی موج با $v=\sqrt{F/\mu}$ داده می‌شود که در آن $\mu=\mathrm{m}/L$ است. بنابراین کشش تار چنین می‌شود :

$$F=\mu v^۲=\left(\frac{m}{L}\right)v^۲=\left(\frac{۸۰۰\times۱۰^{-۶}\ \mathrm{kg}}{۲۲/۰\times۱۰^{-۲}\ \mathrm{m}}\right)(۴۰۴/۸\ \mathrm{m/s})^۲$$

$$=۰/۹۵۹۵\ \mathrm{N} \approx ۰/۶۹۵\ \mathrm{N}$$

پ) برای بسامد اصلی، طول موجِ موج عرضی در تار $\lambda=۲L$ است و بنابراین

$$\lambda=۲L=۲(۰/۲۲۰\ \mathrm{m})=۰/۴۴۰\ \mathrm{m}$$

بسامد صوت در هوا همان بسامد نوسان سیم است. ولی به خاطر تندی متفاوت صوت، طول موج *متفاوت می‌شود*. اگر هوا را با شاخص پایین a نشان دهیم، خواهیم داشت :

$$\lambda_a=\frac{v_a}{f}=\frac{۳۴۰\ \mathrm{m/s}}{۹۲۰\ \mathrm{s^{-1}}}=۰/۳۶۹۶\mathrm{m} \approx ۰/۳۷۰\ \mathrm{m}=۳۷/۰\mathrm{cm}$$

۲۵ الف) همان‌طور که در متن درس آمده، تشدید باعث به نوسان در آمدن تار می‌شود. اگر بسامد مولّد نوسان با بسامدهای ارتعاش تار منطبق شود، تار به تشدید درمی‌آید و در غیر این صورت، موج ایستادهٔ بارزی ایجاد نمی‌شود. به عبارتی وقتی $f=v/\lambda$ برابر با یکی از بسامدهای نوسان‌ساز باشد، این پدیده رخ می‌دهد.

ب) چون تار فقط در دو بسامد ۸۸۰Hz و ۱۳۲۰Hz به نوسان در می‌آید، تفاضل آنها برابر بسامد اصلی نوسان تار است. البته این را می‌توان به‌سادگی نیز اثبات کرد :

$$f_{n+1}-f_n=\frac{(n+1)v}{2L}-\frac{nv}{2L}=\frac{v}{2L}$$

که همان بسامد اصلی نوسان است. بنابراین

$$f_{n+1}-f_n=1320\,\text{Hz}-880\,\text{Hz}=440\,\text{Hz}$$

پ) در بالا ثابت کردیم $f_{n+1}-f_n=v/2L$ ، که در آن $v=\sqrt{F/\mu}$ است. بنابراین

$$f_{n+1}-f_n=\frac{1}{2L}\sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

و از آنجا

$$F=4L^2\mu(f_{n+1}-f_n)^2=4(0/300\,\text{m})^2(0/650\times10^{-2}\,\text{kg/m})\times$$

$$(1320\,\text{Hz}-880\,\text{Hz})^2=45/3\,\text{N}$$

در اینجا خوب بود تندی صوت در تار ویولن نیز پرسیده می‌شد و آن را با تندی صوت در هوا مقایسه می‌کردیم. برای تندی صوت در تار داریم

$$v=\sqrt{\frac{F}{\mu}}=\sqrt{\frac{45/3\,\text{N}}{0/650\times10^{-3}\,\text{kg/m}}}=264\,\text{m/s}$$

۲۶ چون ریسمان B تحت کشش بیشتری نسبت به ریسمان A قرار دارد، تندی موج در این ریسمان بیشتر است، زیرا هر دو ریسمان چگالی خطی جرمی یکسانی دارند. پس طبق رابطهٔ $f_n=nv/2L$، با توجه به اینکه طول دو ریسمان یکسان است، درمی‌یابیم تنها در شکل (ت) که ریسمان B در هماهنگ اول و ریسمان A در هماهنگ دوم در نوسان است این امکان وجود دارد که ریسمان‌ها در بسامدهای تشدیدی یکسانی باشند.

۲۷ همان‌طور که در حل مسئله ۲۵ نشان دادیم، تفاضل دو بسامد نوسان متوالی تار برابر با بسامد اصلی نوسان تار است. بنابراین

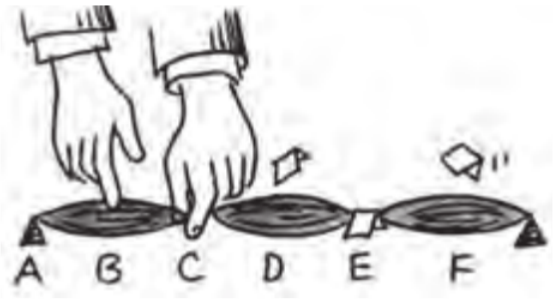
$$f=390\,\text{Hz}-65\,\text{Hz}=325\,\text{Hz}$$

همان بسامد اصلی (پایه) است. پس بسامد هماهنگ بعدی پس از ۱۹۵Hz برابر با $260\,\text{Hz}=65\,\text{Hz}+195\,\text{Hz}$ است. اگر بررسی کنیم عدد هماهنگ این بسامد تشدیدی ۴ است.

۲۸ الف) اگر بررسی کنید درمی‌یابید تفاوت بسامدهای تشدیدی برابر ۷۵Hz است و چون بسامد کمتر از ۴۰۰Hz خواسته شده است، پس بسامد مورد نظر همان ۷۵Hz است.

ب) بسامد پنج هماهنگ اول به ترتیب برابر با ۷۵Hz، ۱۵۰Hz، ۲۲۵Hz، ۳۰۰Hz، و ۳۷۵Hz شده است که به ترتیب هماهنگ‌های اول تا پنجم هستند. بنابراین بسامد هماهنگ هفتم برابر است با : $f_v = 7(75\ \text{Hz}) = 525\ \text{Hz}$.

۲۹ توجه کنید آنچه در توصیف چگونگی انجام این آزمایش آمده است، صرفاً برای آن است. که مسئله از جنبهٔ انتزاعی خارج شده و عملاً انجام‌پذیر باشد. اگر تار در نقطهٔ C محکم گرفته شود، نوسان‌های تار به سمت راست منتقل نمی‌شوند. بنابراین در انجام این تجربه، چگونگی گرفتن تار در نقطهٔ C مهم است و تا آنجا که ممکن است باید به‌آرامی گرفته شود. در این صورت، موج ایستاده‌ای مانند شکل زیر بر تار ایجاد می‌شود به‌طوری که نقطه‌های A، C، E و G گره‌ها و نقطه‌های B، D و F شکم‌ها می‌شوند. بنابراین کاغذهای تاشده در نقطه‌های D و F به هوا برمی‌خیزند، در حالی که کاغذ واقع در E، در جای خود ثابت می‌ماند.



۳۰ آنچه در این پرسش مطرح شده است در واقع وضعیتی مخالف پرسش ۴ـ۶ متن کتاب است که در آنجا با ریختن آب، بسامد صدایی که شنیده می‌شود، افزایش می‌یابد. در هنگام خالی شدن گالن، حجم فضای هوای داخل آن افزایش می‌یابد. هرچه فضای هوای خالی افزایش یابد، اندازهٔ بسامدهای تشدیدی کمتر می‌شوند (این بسامدها با طول ستون هوا نسبت معکوس دارند.)

صدای حاصل از خالی شدن ظرف، گسترهٔ وسیعی از بسامدها را دارد که در هر لحظه، یکی از آنها با بسامد تشدیدی هوای درون ظرف منطبق می‌شود، بنابراین موقع خالی شدن گالن، مدام صداهای بم‌تر و بم‌تری (با بسامد کمتری) را می‌شنویم.

۳۱ هنگام دمیدن در یک صدف حلزونی (conch) لب‌ها را روی دهانهٔ باریک آن می‌فشارند. با دمیدن صدف حلزونی، لب‌ها به نوسان درمی‌آیند و اگر این کار با دقت صورت بگیرد، لب‌ها در بسامدهای مختلفی به نوسان در می‌آیند. نوسان لب‌ها در درون صدف، امواجی صوتی را با همان بسامدهای نوسان لب به وجود می‌آورد. اگر برخی از این امواج با یکی از بسامدهای تشدید صدف منطبق شوند، در این صورت یک موج صوتی قوی را ایجاد می‌کنند. از لحاظ تجربی خوب است به یک آزمایش اشاره کنیم. در آن آزمایش، پایین‌ترین بسامد تشدید صدف ۳۳۲/۵Hz بود و بنابراین نوسان‌های لب در آن بسامد باعث تشدید در درون صدف در همان بسامد می‌شد.

تمارین فصل چهارم رشته تجربی

تمارین فصل پنجم رشته ریاضی

مهندس علی عاقلی
مدرس فیزیک
Physics_Agheli

راهنمای پاسخ‌یابی پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۵

۵ــ۱ــ اثر فوتوالکتریک و فوتون

۱ الف) $\lambda=۵۸۹\,\text{nm}\ ,\ f\ ,\ E=?$

$$E=hf=\frac{hc}{\lambda}=\frac{۱۲۴۰\,\text{eV.nm}}{۵۸۹\,\text{nm}}=۲/۱۰\,\text{eV}$$

$$E=(۲/۱۰\,\text{eV})\left(\frac{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\,\text{J}}{۱\,\text{eV}}\right)=۳/۳۶\times۱۰^{-۱۹}\,\text{J}$$

$$f=\frac{c}{\lambda}=\frac{۳\times۱۰^{۸}\,\text{m/s}}{۵۸۹\times۱۰^{-۹}\,\text{m}}=۵/۰۹\times۱۰^{۱۴}\,\text{Hz}$$

ب) انرژی گسیل شده توسط لامپ در هر دقیقه برابر است با :

$$E_t=Pt=(۵/۰\frac{\text{J}}{\text{s}})(۶۰\,\text{s})=۳۰۰\,\text{J}$$

تعداد فوتون گسیل شده در هر دقیقه برابر است با :

$$n=\frac{E_t}{E}=\frac{۳۰۰\,\text{J}}{۳/۳۶\times۱۰^{-۱۹}\,\text{J}}=۸/۹\times۱۰^{۲۰}$$

۲ الف) بازده $R_a=\frac{\text{توان خروجی}}{\text{توان ورودی}}=\frac{۵/۰\times۱۰^{-۳}\,\text{W}}{۵۰/۰\,\text{W}}=۱۰^{-۴}$

که برابر ۰/۰۱ درصد است.

ب) ابتدا انرژی هر فوتون خروجی را پیدا می‌کنیم.

$$E=\frac{hc}{\lambda}=\frac{۱۲۴۰\,\text{eV.nm}}{۶۳۳\,\text{nm}}=۱/۹۶\,\text{eV}$$

$$=(۱/۹۶\,\text{eV})\left(\frac{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\,\text{J}}{۱\,\text{eV}}\right)=۳/۱۳\times۱۰^{-۱۹}\,\text{J}$$

انرژی کل فوتون‌های خروجی در هر ثانیه برابر است با :

$$E_t=Pt=(۵/۰\times۱۰^{-۳}\frac{\text{J}}{\text{s}})(۱\,\text{s})=۵\times۱۰^{-۳}\,\text{J}$$

تعداد فوتون‌های خروجی در هر ثانیه برابر است با :

$$n=\frac{E_t}{E}=\frac{۵\times۱۰^{-۳}\,\text{J}}{۳/۱۳\times۱۰^{-۱۹}\,\text{J}}=۱/۵۹\times۱۰^{۱۶}$$

۳ چشمهٔ نور را در مرکز کره‌ای به شعاع ۱km در نظر می‌گیریم.

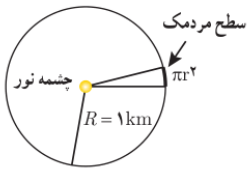
ابتدا تعداد فوتون‌هایی را که با طول موج ۵۵۰nm از لامپ در هر ثانیه گسیل می‌شود مشابه قسمت (ب) مسئله قبل به‌دست می‌آوریم.

انرژی کل فوتون‌های خروجی با طول موج ۵۵۰nm در هر ثانیه برابر است با :

$$E_t=\frac{۱}{۱۰۰}(۵/۰\frac{\text{J}}{\text{s}})(۱\,\text{s})=\frac{۵}{۱۰۰}\,\text{J}$$

انرژی هر فوتون با طول موج ۵۵۰nm برابر است با :

$$E=\frac{hc}{\lambda}=\frac{۱۲۴۰\,\text{eV.nm}}{۵۵۰\,\text{nm}}=۲/۲۵\,\text{eV}$$



پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۵

فیزیک ۳۰

۵ــ۱ اثر فوتوالکتریک و فوتون

۱. یک لامپ حاوی گاز کم‌فشار سدیم، فوتون‌هایی با طول‌موج ۵۸۹nm گسیل می‌کند.
الف) بسامد و انرژی فوتون‌های گسیلی را حساب کنید. انرژی را برحسب ژول و همچنین الکترون ولت بیان کنید.
ب) فرض کنید توان تابشی مفید لامپ ۵/۰W است. در هر دقیقه چند فوتون از این لامپ گسیل می‌شود؟

۲. توان باریکهٔ نور خروجی یک لیزر گازی هلیم نئون ۵/۰mW است. اگر توان ورودی این لیزر ۵۰/۰W باشد،
الف) بازده لیزر را حساب کنید.
ب) اگر طول‌موج باریکهٔ نور خروجی ۶۳۳nm باشد، شمار فوتون‌های را پیدا کنید که در هر ثانیه از این لیزر گسیل می‌شود.

۳. یک لامپ رشته‌ای با توان ۱۰۰W از فاصلهٔ یک کیلومتری دیده می‌شود. فرض کنید نور لامپ به‌طور 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.)

۴. شدت تابشی خورشید در خارج جو زمین حدود $۱۳۶۰\,\text{W/m}^۲$ است؛ یعنی در هر ثانیه به سطحی برابر $۱\,\text{m}^۲$، 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 به‌ازای هر متر مربع حدود $۳۰۰\,\text{W/m}^۲$ باشد، در هر ثانیه چند فوتون به هر متر مربع از سطح زمین می‌رسد؟ طول‌موج متوسط فوتون‌ها را ۵۷۰nm فرض کنید.

□. الف) منظور از اثر فوتوالکتریک چیست؟
ب) توضیح دهید نظریهٔ کوانتومی تابش که توسط اینشتین مطرح شد و در آن نور به‌صورت مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی در نظر گرفته شد چگونه به تبیین اثر فوتوالکتریک کمک کرد؟
پ) معادلهٔ مربوط به اثر فوتوالکتریک به‌صورت $K_{max}=hf-W_۰$ بیان می‌شود. سه بخش این معادله را به طور جداگانه توضیح دهید.

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
ب) افزایش شدت نور فرودی در بسامدهای کوچک‌تر از بسامد آستانه
پ) کاهش شدت نور فرودی در بسامدهای بزرگ‌تر از بسامد آستانه

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 ۵ــ۶ مفهوم کمیت این طول‌موج مربوط به چه رنگی است؟
ب) آیا فوتون‌هایی با طول‌موج ۶۸۰nm قادر به جدا کردن الکترون از سطح این فلز هستند؟

۸. تابش فرابنفشی با طول‌موج ۲۰۰nm بر سطح تهه‌ای از جنس نیکل با تابع کار ۴/۹۰eV تابیده می‌شود. پیشینهٔ تندی فوتوالکترون‌های جدا شده از سطح نیکل را حساب کنید.

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

۵ــ۲ و ۵ــ۳ طیف خطی و مدل اتم رادرفورد ــ بور

۱. الف) طیف گسیلی یک جسم در چه مواردی پیوسته و در چه مواردی گسسته یا خطی است؟ منشأ فیزیکی این تفاوت را توضیح دهید.
ب) توضیح دهید چگونه می‌توان طیف‌های گسیلی پیوسته و خطی را ایجاد کرد.

۲. 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.

کانال تلگرام و اینستاگرام
گروه آموزشی مهندس علی عاقلی
Physics_Agheli

$$= (۲/۲۵\,\text{eV})\left(\frac{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\,\text{J}}{۱\,\text{eV}}\right) = ۳/۶۰\times۱۰^{-۱۹}\,\text{J}$$

تعداد فوتون‌هایی که در هر ثانیه با طول موج ۵۵۰nm از این لامپ گسیل می‌شود برابر است با :

$$n = \frac{E_t}{E} = \frac{۰/۰۵\,\text{J}}{۳/۶\times۱۰^{-۱۹}\,\text{J}} = ۱/۳۸\times۱۰^{۱۷}$$

به این ترتیب تعداد فوتون‌هایی که با این طول موج وارد چشم ناظر می‌شوند برابر است با :

$$n' = \left(\frac{\pi r^۲}{۴\pi R^۲}\right)n = \left(\frac{۱۰^{-۶}\,\text{m}^۲}{۴\times۱۰^{۶}\,\text{m}^۲}\right)(۱/۳۸\times۱۰^{۱۷})$$

$$\Rightarrow n' = (\frac{۱/۳۸}{۴})\times۱۰^{۵} = ۳/۴۵\times۱۰^{۴}$$

۴ ابتدا انرژی متوسط هر فوتون را پیدا می‌کنیم.

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{۱۲۴۰\,\text{eV.nm}}{۵۷۰\,\text{nm}} = ۲/۱۷\,\text{eV}$$

$$= (۲/۱۷\,\text{eV})\left(\frac{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\,\text{J}}{۱\,\text{eV}}\right) = ۳/۴۸\times۱۰^{-۱۹}\,\text{J}$$

انرژی کل فوتون‌های رسیده به سطحی برابر $۱\,\text{m}^۲$ در هر ثانیه برابر است با :

$$E_t = (۳۰۰\frac{\text{J}}{\text{sm}^۲})(۱\,\text{m}^۲)(۱\,\text{s}) = ۳۰۰\,\text{J}$$

به این ترتیب تعداد فوتون‌هایی که در هر ثانیه به هر متر مربع از سطح زمین می‌رسد برابر است با :

$$n = \frac{E_t}{E} = \frac{۳۰۰\,\text{J}}{۳/۴۸\times۱۰^{-۱۹}\,\text{J}} = ۸/۶۲\times۱۰^{۲۰}$$

خوب است توجه دانش‌آموزان را به این نکته مهم جلب کنید که ایران از نظر جغرافیایی در وضعیت مطلوبی نسبت به تابش خورشید قرار گرفته است، میانگین انرژی‌ای که از تابش خورشید به هر متر مربع آن می‌رسد حدود ۱۰۰۰J است. به همین دلیل است که سرمایه‌گذاری در انرژی خورشیدی در ایران (به‌جز نوار شمالی) به مراتب از بسیاری از کشورهای دیگر جهان بازدهی بالاتری دارد.

۵ الف) لازم است دانش‌آموزان فهم درستی از پاراگراف اول بخش ۵ــ۱ ارائه دهند.

ب) اینشتین افزون بر اینکه نور را به‌صورت بسته‌های انرژی در نظر گرفت، فرض کرد که هریک از این بسته‌های انرژی صرفاً با یکی از الکترون‌های سطح فلز برهم‌کنش می‌کند. اگر در حین برهم‌کنش، فوتون انرژی کافی داشته باشد تا الکترون را از سطح فلز خارج کند، اثر فوتوالکتریک رخ می‌دهد.

ب) کافی است دانش‌آموزان فهم درست خود را از هریک از کمیت‌های مندرج در این رابطه را بیان کنند.

۶ الف) با کاهش بسامد نور فرودی نسبت به بسامد آستانه، اثر فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد درحالی‌که با افزایش بسامد نور فرودی نسبت به بسامد آستانه، انرژی فوتون‌های تابش شده به سطح فلز افزایش می‌یابد و در نتیجه فوتوالکترون‌ها با انرژی جنبشی بزرگ‌تری سطح فلز را ترک می‌کنند.

ب) افزایش شدت نور فرودی برای حالتی که بسامد فوتون‌ها از بسامد آستانه کمتر است، بدون آنکه اثر فوتوالکتریک رخ دهد تنها

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۵

فیزیک ۳

۵ــ۱ اثر فوتوالکتریک و فوتون

۱. یک لامپ حاوی گاز کم‌فشار سدیم، فوتون‌هایی با طول‌موج ۵۸۹nm گسیل می‌کند.
الف) بسامد و انرژی فوتون‌های گسیلی را حساب کنید. انرژی را برحسب ژول و همچنین الکترون‌ولت بیان کنید.
ب) فرض کنید توان تابشی مفید لامپ ۵/۰W است. در هر دقیقه چند فوتون از این لامپ گسیل می‌شود؟

۲. توان باریکهٔ نور خروجی یک لیزر گازی هلیم نئون ۵/۰mW است. اگر توان ورودی این لیزر ۵/۰W باشد،
الف) بازده لیزر را حساب کنید.
ب) اگر طول‌موج باریکهٔ نور خروجی ۶۳۲nm باشد، شمار فوتون‌هایی را پیدا کنید که در هر ثانیه از این لیزر گسیل می‌شود.

۳. یک لامپ رشته‌ای با توان ۱۰۰W از فاصلهٔ یک کیلومتری دیده می‌شود. فرض کنید نور لامپ به‌طور 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.)

۴. تمدت تابشی خورشید در خارج جو زمین حدود ۱۳۶۰W/m² است؛ یعنی در هر ثانیه به سطحی برابر ۱m² 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 به‌ازای هر متر مربع حدود ۳۰۰W/m² باشد، در هر ثانیه چند فوتون به هر متر مربع از سطح زمین می‌رسد؟ طول‌موج متوسط فوتون‌ها را ۵۷۰nm فرض کنید.

۵. الف) منظور از اثر فوتوالکتریک چیست؟
ب) توضیح دهید نظریهٔ کوانتومی تابش که توسط اینشتین مطرح شد و در آن نور به‌صورت مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی در نظر گرفته شد چگونه به تبیین اثر فوتوالکتریک کمک کرد؟
ب) معادلهٔ مربوط به اثر فوتوالکتریک به‌صورت $K_{max} = hf - W$ بیان می‌شود. سه بخش این معادله را به طور جداگانه توضیح دهید.

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
ب) افزایش شدت نور فرودی در بسامدهای کوچک‌تر از بسامد آستانه
ب) کاهش شدت نور فرودی در بسامدهای بزرگ‌تر از بسامد آستانه

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 ۵ــ۶ معلوم کنید این طول‌موج مربوط به چه رنگی است؟
ب) آیا فوتون‌هایی با طول‌موج ۶۸۰nm قادر به جدا کردن الکترون از سطح این فلز هستند؟

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

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

۵ــ۲ و ۵ــ۳ طیف خطی و مدل اتم راترفورد ــ بور

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

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 نشده است.

تعداد فوتون‌هایی را که با سطح فلز برهم‌کنش می‌کنند افزایش می‌دهد و این برهم‌کنش سبب افزایش انرژی درونی فلز و در نتیجه افزایش دمای آن می‌شود.
پ) سبب کاهش فوتون‌ها و در نتیجه کاهش تعداد فوتوالکترون‌هایی می‌شود که از سطح فلز خارج می‌شوند.

۷ الف)

$$W_0 = ۲/۲۸\ \text{eV}$$

$$f_0 = \frac{W_0}{h} \Rightarrow \lambda_0 = \frac{hc}{W_0} = \frac{۱۲۴۰\ \text{eV.nm}}{۲/۲۸\ \text{eV}} \approx ۵۴۴\ \text{nm}$$

این طول موج متناظر با رنگ سبز است.
ب) خیر، زیرا بسامد آنها کمتر از بسامد آستانه است.

۸

$$K_{max} = hf - W_0 = \frac{hc}{\lambda} - W_0$$

$$= \frac{۱۲۴۰\ \text{eV.nm}}{۲۰۰\ \text{nm}} - ۴/۹۰\ \text{eV} = ۱/۳\ \text{eV}$$

۹

$$K_{max} = \frac{hc}{\lambda} - W_0 \Rightarrow ۰/۵\ \text{eV} = \frac{۱۲۴۰\ \text{eV.nm}}{۴۲۰\ \text{nm}} - W_0$$

$$\Rightarrow W_0 = ۲/۴۵\ \text{eV}$$

$$f_0 = \frac{W_0}{h} = \frac{۲/۴۵\ \text{eV}}{۴/۱۴ \times ۱۰^{-۱۵}\ \text{eV.s}} = ۵/۹۲ \times ۱۰^{۱۴}\ \text{Hz}$$

۵ــ۲ و ۵ــ۳ طیف خطی و مدل اتم رادرفورد ــ بور :

۱۰ در پاراگراف اول بخش ۵ــ۲ درخصوص تفاوت طیف گسیلی اجسام جامد (که پیوسته است) و طیف گسیلی گازهای اتمی (که خطی است) توضیح داده شده است.
ب) شکل‌های ۵ــ۶ و ۵ــ۸ روش تشکیل طیف گسیلی جسم جامد (مانند رشته تنگستن یک لامپ) و گاز اتمی (مانند گاز هیدروژن اتمی) نشان داده شده است.

۱۱ الف) $n=۱$ متناظر با حالت پایه اتم است و برای اتم هیدروژن، انرژی الکترون در حالت پایه $-۱۳/۶\ \text{eV}$ است.
ب) از یک طرف برهم‌کنش بین اتم‌های گاز بسیار ناچیز است و از طرف دیگر بنابر مدل بور، الکترون در مدارهایی با شعاع $(r_n = a_0 n^۲)$ و انرژی معین $(E_n = \frac{-۱۳/۶\ \text{eV}}{n^۲})$ در فضای پیرامون هسته توزیع شده‌اند. لذا هنگام گذار الکترون‌ها بین دو مدار، تنها فوتون‌هایی با انرژی معین می‌توانند گسیل یا جذب شوند. به همین دلیل طیف گسیلی یا جذبی گازهای اتمی، خطی است.
پ) بلندترین طول موج به ازای $n=۲$ و کوتاه‌ترین طول موج به ازای $n=\infty$ به‌دست می‌آید. به این ترتیب داریم :

$$\lambda_{max} = \frac{۴}{۳R} \quad \Rightarrow \Delta\lambda = \frac{۴}{۳R} - \frac{۱}{R} = \frac{۱}{۳R} \simeq ۳۰\ \text{nm}$$
$$\lambda_{min} = \frac{۱}{R}$$

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۵

۵ــ۱ اثر فوتوالکتریک و فوتون

۱. یک لامپ حاوی گاز کم‌فشار سدیم، فوتون‌هایی با طول‌موج ۵۸۸nm گسیل می‌کند.
الف) بسامد و انرژی فوتون‌های گسیلی را حساب کنید. انرژی را برحسب زول و همچنین الکترون ولت بیان کنید.
ب) فرض کنید توان تابشی مفید لامپ ۵/۰W است. در هر دقیقه چند فوتون از این لامپ گسیل می‌شود؟

۲. توان باریکهٔ نور خروجی یک لیزر گازی هلیم نئون ۵/۰mW است. اگر توان ورودی این لیزر ۵/۰W باشد،
الف) بازده لیزر را حساب کنید.
ب) اگر طول‌موج باریکهٔ نور خروجی ۶۳۳nm باشد، بسازد فوتون‌هایی را پیدا کنید که در هر ثانیه از این لیزر گسیل می‌شود.

۳. یک لامپ رشته‌ای با توان ۱۰۰W از فاصلهٔ یک کیلومتری دیده می‌شود. فرض کنید نور لامپ به‌طور 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.)

۴. شدت تابشی خورشید در خارج جو زمین حدود ۱۳۶۰W/m² است؛ یعنی در هر ثانیه به سطحی برابر ۱m²، 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 به‌ازای هر متر مربع حدود ۳۰۰W/m² باشد، در هر ثانیه چند فوتون به هر متر مربع از سطح زمین می‌رسد؟ طول‌موج متوسط فوتون‌ها را ۵۷۰nm فرض کنید.

۵. الف) منظور از اثر فوتوالکتریک چیست؟
ب) توضیح دهید نظریهٔ کوانتومی تابش که توسط اینشتین مطرح شد و در آن نور به‌صورت مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی در نظر گرفته شد چگونه به تبیین اثر فوتوالکتریک کمک کرد؟
پ) معادلهٔ مربوط به اثر فوتوالکتریک به‌صورت $K_{max} = hf - W_0$ بیان می‌شود. سه بخش این معادله را به طور جداگانه توضیح دهید.

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
ب) افزایش شدت نور فرودی در بسامدهای کوچک‌تر از بسامد آستانه
پ) کاهش شدت نور فرودی در بسامدهای بزرگ‌تر از بسامد آستانه

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 ۵ــ۸ معلوم کنید این طول‌موج مربوط به چه رنگی است؟
ب) آیا فوتون‌هایی با طول‌موج ۶۸۰nm قادر به جدا کردن الکترون از سطح این فلز هستند؟

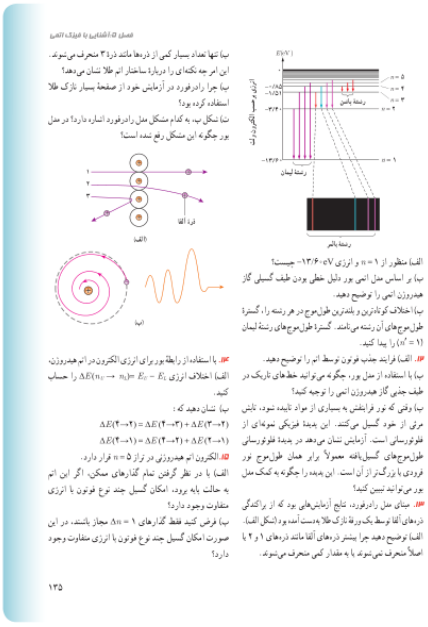
۸. تابش فرابنفشی با طول‌موج ۲۰۰nm بر سطح تیغه‌ای از جنس نیکل با تابع کار ۴/۹۰eV تابیده می‌شود. بیشینهٔ تندی فوتوالکترون‌های جدا شده از سطح نیکل را حساب کنید.

۹. هر گاه بر سطح فلزی نوری با طول‌موج ۴۲۰nm بتابد بیشینهٔ انرژی جنبشی فوتوالکترون‌های گسیل‌شده، حدود ۰/۵eV است. بسامد آستانه برای گسیل فوتوالکترون‌ها از سطح این فلز چقدر است؟

۵ــ۲ و ۵ــ۳ طیف خطی و مدل اتم رادرفورد ــ بور

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

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.



۱۲ الف) به شکل ۵ــ۱۸ــ ب و شرح متناظر با آن توجه شود.

ب) با توجه به شکل ۵ــ۱۶، هنگام عبور فوتون‌ها از سلول حاوی اتم‌های گازی، برخی از این فوتون‌ها که انرژی آنها برابر با اختلاف انرژی ترازهای اتم‌های درون گاز هستند جذب شده و به همین دلیل طیف ایجاد شده دارای خط‌های تاریکی است که طول موج آنها متناظر با طول موج همین فوتون‌های جذب شده است. نکتهٔ مهمی که باید توجه شود این است که مدت کوتاهی ($10^{-8}s$) پس از جذب این فوتون‌ها توسط الکترون و رفتن به مدار بالاتر، دوباره الکترون به حالت قبلی بازمی‌گردد و فوتونی با همان طول موج جذب شده را گسیل می‌کند. از آنجا که جهت این فوتون در جهت فوتون جذب شده نیست (یعنی دارای جهت کاتوره‌ای است) لذا دائماً این خط‌های تاریک روی طیف جذبی گازهای اتمی مشاهده می‌شود.

پ) زیرا هنگام برخورد نور فرابنفش به یک ماده، به دلیل انرژی زیادی که فوتون‌های آن دارند ممکن است الکترون‌هایی پس از جذب انرژی فوتون، به چند تراز بالاتر از جایی که بوده‌اند بروند (شکل الف). پس از مدت کوتاهی ($10^{-8}s$) و هنگام برگشت این الکترون‌ها ممکن است مستقیماً به تراز اولیه خود نروند و پس از رفتن روی ترازهای میانی به تراز اولیه خود بازگردند (شکل ب).

۱۳ الف و ب) به شرح مدل رادرفورد و شکل ۵ــ۱۰ توجه شود.

پ) زیرا ورقه‌های طلا را بدون آنکه دوام خود را از دست بدهند به اندازه کافی می‌توان نازک ساخت. معمولاً ورقه‌های طلا را با ضخامت صدها اتم نیز می‌توان ساخت.

ت) ناپایداری اتم. زیرا مطابق فیزیک کلاسیک، الکترون‌های (بار منفی) در حال چرخش به دور هسته (با بار مثبت) به تدریج انرژی خود را از دست می‌دهند و سرانجام روی هسته فرو می‌افتند.

۱۴ الف) با استفاده از رابطه ۵ــ۸ ($E_n = \frac{-13/6\ \text{eV}}{n^2}$) داریم :

$$\Delta E(n_u \to n_L) = \frac{-13/6\ \text{eV}}{n_u^2} + \frac{13/6\ \text{eV}}{n_L^2} = (-13/6\ \text{eV})\left(\frac{1}{n_u^2} - \frac{1}{n_L^2}\right)$$

ب)

$$\Delta E(4\to2) = \Delta E(4\to3) + \Delta E(3\to2)$$

$$(-13/6\ \text{eV})\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{2^2}\right) = (-13/6\ \text{eV})\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{3^2}\right) + (-13/6\ \text{eV})\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{2^2}\right)$$

$$\frac{1}{16} - \frac{1}{4} = \frac{1}{16} - \frac{1}{9} + \frac{1}{9} - \frac{1}{4} = \frac{1}{16} - \frac{1}{4}$$

۱۵ الف) گذارهای ممکن از $n=5$ به حالت پایه ($n=1$) عبارت‌اند از :

$\Delta E(4\to1)$ و $\Delta E(4\to2)$ و $\Delta E(4\to3)$ و $\Delta E(5\to4)$

$\Delta E(3\to1)$ و $\Delta E(3\to2)$ و $\Delta E(5\to3)$

$\Delta E(۵\to۲)$ و $\Delta E(۲\to۱)$

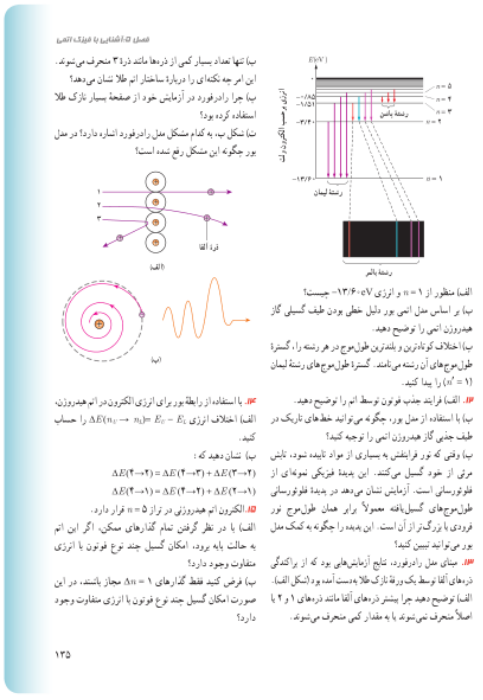
$\Delta E(۵\to۱)$

همان‌طور که دیده می‌شود در مجموع امکان ۱۰ گذار وجود دارد.

ب) با توجه به شرط $\Delta n=۱$، تنها امکان ۴ گذار زیر وجود دارد.

$\Delta E(۵\to۴)$ و $\Delta E(۴\to۳)$ و $\Delta E(۳\to۲)$

$\Delta E(۲\to۱)$



فصل ۵: آشنایی با فیزیک اتمی

ب) تنها تعداد بسیار کمی از ذره‌ها مانند ذره ۳ منحرف می‌شوند. این امر چه نکته‌ای را دربارهٔ ساختار اتم طلا نشان می‌دهد؟

پ) چرا رادرفورد در آزمایش خود از صفحهٔ بسیار نازک طلا استفاده کرده بود؟

ت) شکل پ، به کدام مشکل مدل رادرفورد اشاره دارد؟ در مدل بور چگونه این مشکل رفع شده است؟

۱۴. با استفاده از رابطهٔ بور برای انرژی الکترون در اتم هیدروژن، الف) اختلاف انرژی $\Delta E(n_i\to n_f)=E_i-E_f$ را حساب کنید.

ب) نشان دهید که:

$\Delta E(۴\to۲)=\Delta E(۴\to۳)+\Delta E(۳\to۲)$

$\Delta E(۴\to۱)=\Delta E(۴\to۳)+\Delta E(۳\to۲)+\Delta E(۲\to۱)$

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؟

ب) فرض کنید فقط گذارهای $\Delta n=۱$ مجاز باشند. در این صورت امکان گسیل چند نوع فوتون با انرژی متفاوت وجود دارد؟

۱۳۵

الف) منظور از $n=۱$ و انرژی $-۱۳/۶۰۵۷$ چیست؟

ب) بر اساس مدل اتمی بور دلیل خطی بودن طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی را توضیح دهید.

پ) اختلاف کوتاه‌ترین و بلندترین طول‌موج در هر رشته را، گسترهٔ طول‌موج‌های آن رشته می‌نامند. گسترهٔ طول‌موج‌های رشتهٔ لیمان ($n'=۱$) را پیدا کنید.

۱۲. الف) فرایند جذب فوتون توسط اتم را توضیح دهید.

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

پ) وقتی که نور فرابنفش به بسیاری از مواد تابیده شود، تابش مرئی از خود گسیل می‌کنند. این پدیدهٔ فیزیکی نمونه‌ای از فلوئورسانی است. آزمایش نشان می‌دهد در پدیدهٔ فلوئورسانی طول‌موج‌های گسیل‌یافته معمولاً برابر همان طول‌موج نور فرودی یا بزرگ‌تر از آن است. این پدیده را چگونه به کمک مدل بور می‌توانید تبیین کنید؟

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

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

۵ـ۴ـ لیزر

۱۶ الف) یعنی اتم‌ها در حالت عادی هستند و برانگیخته نشده‌اند.

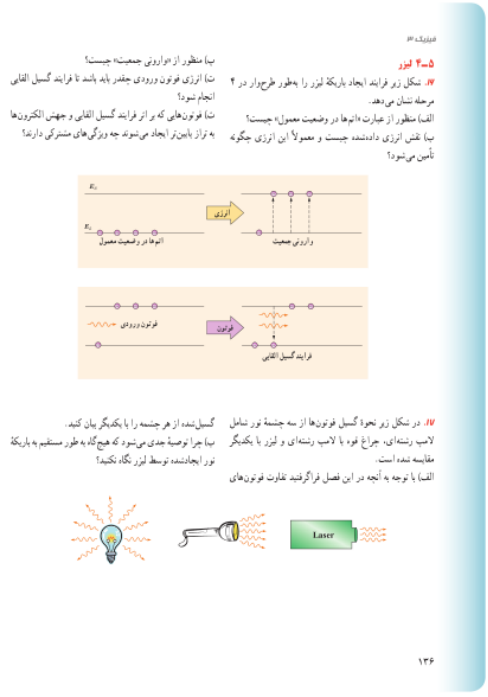
ب) این انرژی سبب برانگیخته شدن اتم‌ها می‌شود.

پ) حالتی است که تعداد اتم‌های برانگیخته شده فراتر از تعداد اتم‌ها در حالت معمول باشد.

ت) درست برابر اختلاف انرژی ترازهای E_u و E_L است.

ث) هم‌بسامد، هم‌جهت و همگام (هم‌فاز)اند.

۱۷ فوتون‌های گسیل شده از رشتهٔ تنگستن لامپ دارای طیف گسترده و پیوسته‌ای از طول موج‌ها هستند و در تمام جهت‌های مختلف حرکت می‌کنند درحالی‌که آینهٔ درون چراغ‌قوه جهت‌مندی بهتری به فوتون گسیل شده از لامپ می‌دهد و فوتون‌ها در گسترهٔ فضایی کوچک‌تری منتشر می‌شوند. فوتون‌های گسیل شده از لیزر، افزون بر اینکه هم‌بسامدند، هم‌جهت و همگام هستند.



فیزیک ۳

۵ـ۴ـ لیزر

۱۷. شکل زیر فرایند ایجاد باریکهٔ لیزر را به‌طور طرح‌وار در ۴ مرحله نشان می‌دهد.

الف) منظور از عبارت «اتم‌ها در وضعیت معمول» چیست؟

ب) تفاوت انرژی داده‌شده چیست و معمولاً این انرژی چگونه تأمین می‌شود؟

ب) منظور از «وارونی جمعیت» چیست؟

ت) انرژی فوتون ورودی چقدر باید باشد تا فرایند گسیل القایی انجام شود؟

ث) فوتون‌هایی که بر اثر فرایند گسیل القایی و جهش الکترون‌ها به تراز پایین‌تر ایجاد می‌شوند چه ویژگی‌های مشترکی دارند؟

۱۸. در شکل زیر نحوهٔ گسیل فوتون‌ها از سه جسمهٔ 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 جسمه را با یکدیگر بیان کنید.

ب) چرا توصیهٔ جدی می‌شود که هیچ‌گاه به طور مستقیم به باریکهٔ نور ایجادشده توسط لیزر نگاه نکنید؟

۱۳۶

ادامه تمارین فصل چهارم رشته تجربی

تمارین فصل ششم رشته ریاضی

مهندس علی عاقلی
مدرس فیزیک
Physics_Agheli

راهنمای پاسخ‌یابی به پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۶

۶ـ۱ ساختار هسته

۱ اگر هنگام قرارگرفتن نوترون‌ها درون توپ تنیس، فضاهای خالی را نادیده بگیریم و ضریب پرشدگی را یک در نظر بگیریم، در این صورت داریم :

$$\frac{\frac{۴}{۳}\pi R^۳}{\frac{۴}{۳}\pi r^۳}=\frac{(۳/۲\times ۱۰^{-۲}\,\mathrm{m})^۳}{(۱۰^{-۱۵}\,\mathrm{m})^۳}\approx ۱۰^{۴۰}$$

مرتبه بزرگی تعداد نوترون‌هایی که در توپ تنیس جای می‌گیرند

$۱۰^{-۲۷}\,\mathrm{kg}\times ۱۰^{۴۰}\approx ۱۰^{۱۳}\,\mathrm{kg}$ مرتبه بزرگی جرم توپ تنیس در این شرایط برای مقایسه خوب است بدانید مرتبهٔ بزرگی جرم تمامی ساکنین روی کرهٔ زمین حدود $۱۰^{۱۲}\,\mathrm{kg}$ است!

۲ الف) تعداد نوکلئون‌ها (عدد جرمی) $A=۲۰۸$

ب) $N=A-Z=۲۰۸-۸۲=۱۲۶$

پ) $q=+Ze=+۸۲e$

۳ الف)

$$^{۱۹۵}_{۷۸}\mathrm{X}=^{۱۹۵}_{۷۸}\mathrm{Pt}$$

$$N=A-Z=۱۹۵-۷۸=۱۱۷$$

ب)

$$^{۳۲}_{۱۶}\mathrm{X}=^{۳۲}_{۱۶}\mathrm{S}$$

$$N=A-Z=۳۲-۱۶=۱۶$$

پ)

$$^{۶۱}_{۲۹}\mathrm{X}=^{۶۱}_{۲۹}\mathrm{Pm}$$

$$N=A-Z=۶۱-۲۹=۳۲$$

۴ $^{۶۱}_{۲۵}\mathrm{X}$ و $^{۵۹}_{۲۵}\mathrm{X}$ از ایزوتوپ‌های منگنز هستند که به طریق شیمیایی قابل جداسازی نیستند. در حالی که $^{۶۱}_{۲۶}\mathrm{X}$ یکی از ایزوتوپ‌های آهن است و به سادگی می‌توان به روش شیمیایی آن را از ایزوتوپ منگنز جدا نمود.

۶ـ۲ـ پرتوزایی طبیعی و نیمه‌عمر

۵

$$^{۲۱۱}_{۸۲}\mathrm{Pb}\rightarrow{}^{۲۱۱}_{۸۳}\mathrm{Bi}+\beta^-$$

$$^{۱۱}_{۶}\mathrm{C}\rightarrow{}^{۱۱}_{۵}\mathrm{B}+\beta^+$$

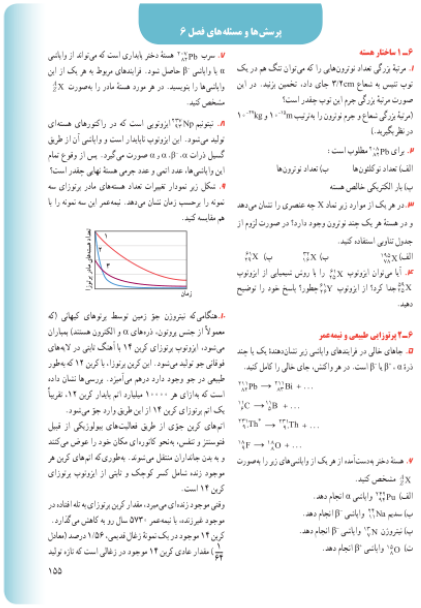
$$^{۲۳۱}_{۹۰}\mathrm{Th}^*\rightarrow{}^{۲۳۱}_{۹۰}\mathrm{Th}+\gamma$$

$$^{۱۸}_{۹}\mathrm{F}\rightarrow{}^{۱۸}_{۸}\mathrm{O}+\beta^+$$

۶

الف) $^{۲۴۲}_{۹۴}\mathrm{Pu}\rightarrow{}^{۲۳۸}_{۹۲}\mathrm{U}+\alpha$

ب) $^{۲۴}_{۱۱}\mathrm{Na}\rightarrow{}^{۲۴}_{۱۲}\mathrm{Mg}+\beta^-$


پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۶

۶ـ۱ ساختار هسته

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 $۱۰^{-۱۵}\,\mathrm{m}$ و $۱۰^{-۲۷}\,\mathrm{kg}$ در نظر بگیرید.)

۲. برای $^{۲۰۸}_{۸۲}\mathrm{Pb}$ مطلوب است :
الف) تعداد نوکلئون‌ها ب) تعداد نوترون‌ها

۳. در هر یک از موارد زیر تعداد A چه عنصری را نشان می‌دهد و در هستهٔ هر یک چند نوترون وجود دارد؟ در صورت لزوم از جدول تناوبی استفاده کنید.
الف) $^{۱۹۵}_{۷۸}\mathrm{X}$ ب) $^{۳۲}_{۱۶}\mathrm{X}$ پ) $^{۱۳۱}_{۵۳}\mathrm{X}$

۴. آیا می‌توان ایزوتوپ $^{۱۹۵}_{۷۸}\mathrm{X}$ را با روش شیمیایی از ایزوتوپ $^{۱۹۷}_{۷۸}\mathrm{X}$ جدا کرد؟ از ایزوتوپ $^{۱۹۷}_{۷۸}\mathrm{X}$ چطور؟ پاسخ خود را توضیح دهید.

۶ـ۲ پرتوزایی طبیعی و نیمه‌عمر

۵. جاهای خالی در فرایندهای واپاشی زیر نشان‌دهندهٔ یک یا چند ذرهٔ α، β^-، β^+ یا γ است. در هر واکنش، جای خالی را کامل کنید.
$^{۲۱۱}_{۸۲}\mathrm{Pb}\rightarrow{}^{۲۱۱}_{۸۳}\mathrm{Bi}+\ldots$
$^{۱۱}_{۶}\mathrm{C}\rightarrow{}^{۱۱}_{۵}\mathrm{B}+\ldots$
$^{۲۳۱}_{۹۰}\mathrm{Th}^*\rightarrow{}^{۲۳۱}_{۹۰}\mathrm{Th}+\ldots$
$^{۱۸}_{۹}\mathrm{F}\rightarrow{}^{۱۸}_{۸}\mathrm{O}+\ldots$

۶. هستهٔ دختر پدرسأمه از هر یک از واپاشی‌های زیر را به‌صورت $^{A}_{Z}\mathrm{X}$ مشخص کنید.
الف) $^{۲۴۲}_{۹۴}\mathrm{Pu}$ واپاشی α انجام دهد.
ب) سدیم $^{۲۴}_{۱۱}\mathrm{Na}$ واپاشی β^- انجام دهد.
پ) نیتروژن $^{۱۳}_{۷}\mathrm{N}$ واپاشی β^+ انجام دهد.
ت) $^{۱۵}_{۸}\mathrm{O}$ واپاشی β^+ انجام دهد.

۷. سرب $^{۲۱۱}_{۸۲}\mathrm{Pb}$ هستهٔ دختر پادیاری است که می‌تواند از واپاشی α یا واپاشی β^- حاصل شود. فرایندهای مربوط به هر یک از این واپاشی‌ها را بنویسید. در هر مورد هستهٔ مادر را به‌صورت $^{A}_{Z}\mathrm{X}$ مشخص کنید.

۸. نپتونیم $^{۲۳۷}_{۹۳}\mathrm{Np}$ ایزوتوپی است که در راکتورهای هسته‌ای تولید می‌شود. این ایزوتوپ ناپایدار است و واپاشی آن از طریق گسیل ذرات α، β^-، α و α به‌صورت می‌گیرد. پس از وقوع تمام این واپاشی‌ها، عدد اتمی و عدد جرمی هستهٔ نهایی چقدر است؟

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.

۱۰. هنگامی که نیتروژن جو 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، یا کربن ۱۴ که به‌طور طبیعی در جو وجود دارد درهم می‌آمیزد. بررسی‌ها نشان داده است که به‌ازای هر ۱۰۰۰۰۰ میلیارد اتم پایدار کربن ۱۲، تقریباً یک اتم پرتوزای کربن ۱۴ از این طریق وارد جو می‌شود.
اتم‌های کربن جزئی از طریق فعالیت‌های بیولوژیکی از قبیل فتوسنتز و تنفس، به‌نحو کاتوره‌ای مکان خود را عوض می‌کنند و به بدن جانداران منتقل می‌شوند. به‌طوری که اتم‌های کربن هر موجود زنده شامل کسر کوچک و ثابتی از ایزوتوپ پرتوزای کربن ۱۴ است.
وقتی موجود زنده‌ای می‌میرد، مقدار کربن پرتوزای به‌لله 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

کانال تلگرام و اینستاگرام
گروه آموزشی مهندس علی عاقلی
Physics_Agheli

پ) $^{13}_{7}N \rightarrow {}^{13}_{6}N + \beta^{-}$

ت) $^{15}_{8}O \rightarrow {}^{15}_{7}O + \beta^{+}$

۷ یک راه برای دیدن سری‌های واپاشی پرتوزا، مراجعه به کتاب‌های مرجع هسته‌ای است ولی با مراجعه به اینترنت و با استفاده از کلیه واژه‌های (radioactive decay series) یا (decay chain) است. مراجعه به سایت زیر نیز برخی از سری‌های واپاشی پرتوزا را ارائه می‌دهد. حفظ کردن این سری و ارزشیابی از آن، جزو اهداف این فصل نیست.

www.en.wikipedia.org/wiki/decay-chain

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۶

۶-۱ ساختار هسته

۱. مرتبهٔ بزرگی تعداد نوترون‌هایی را که می‌توان تنگ هم در یک تیوب تنیس به شعاع ۳/۰cm جای داد، تخمین بزنید. در این صورت مرتبهٔ بزرگی جرم این تیوب چقدر است؟ (مرتبهٔ بزرگی شعاع و جرم نوترون را به ترتیب 10^{-15}m و 10^{-27}kg در نظر بگیرید.)

۲. برای $^{208}_{82}Pb$، مطلوب است:
الف) تعداد نوترون‌ها ب) تعداد نوکلئون‌ها
پ) بار الکتریکی خالص هسته

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) $^{A}_{Z}X$ ب) $^{2}_{1}X$ پ) $^{4}_{2}X$

۴. آیا می‌توان اورانیوم $^{238}_{92}X$ را با روش شیمیایی از اورانیوم $^{235}_{92}X$ جدا کرد؟ از اورانیوم $^{A}_{Z}X$ چطور؟ پاسخ خود را توضیح دهید.

۶-۲ پرتوزایی طبیعی و نیمه‌عمر

۵. جاهای خالی در فرایندهای واپاشی زیر را که تنها دهندهٔ یک یا چند ذرهٔ α، β^{-} یا β^{+} است، در هر واکنش، جای خالی را کامل کنید.
$^{211}_{82}Pb \rightarrow {}^{211}_{83}Bi + \ldots$
$^{11}_{6}C \rightarrow {}^{11}_{5}B + \ldots$
$^{232}_{90}Th \rightarrow {}^{228}_{88}Th + \ldots$
$^{18}_{9}F \rightarrow {}^{18}_{8}O + \ldots$

۶. هستهٔ دختر به‌دست‌آمده از هر یک از واپاشی‌های زیر را به‌صورت $^{A}_{Z}X$ مشخص کنید.
الف) $^{239}_{94}Pu$ واپاشی α انجام دهد.
ب) سدیم $^{24}_{11}Na$ واپاشی β^{-} انجام دهد.
پ) نیتروژن $^{13}_{7}N$ واپاشی β^{+} انجام دهد.
ت) $^{15}_{8}O$ واپاشی β^{+} انجام دهد.

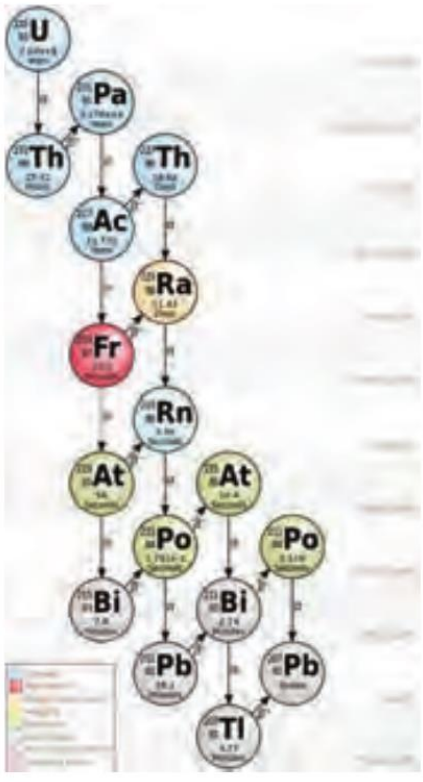
۷. سرب $^{214}_{82}Pb$ هستهٔ دختر پایداری است که می‌تواند از واپاشی α یا واپاشی β^{-} حاصل شود. فرایندهای مربوط به هر یک از این واپاشی‌ها را بنویسید. در هر مورد هستهٔ مادر را به‌صورت $^{A}_{Z}X$ مشخص کنید.

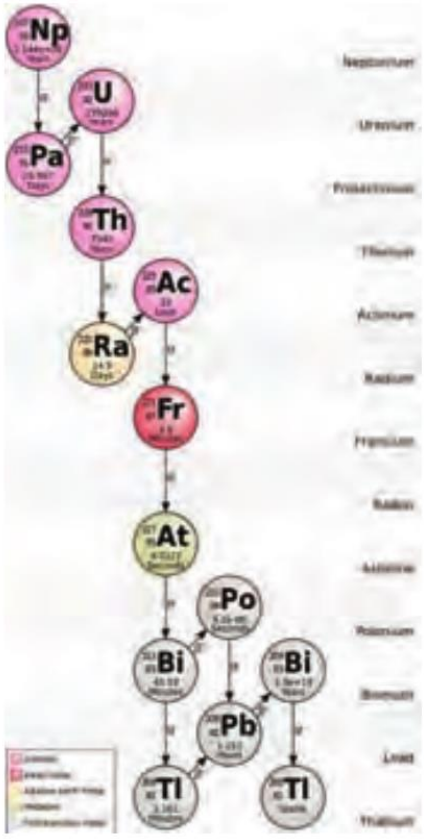
۸. نپتونیم $^{237}_{93}Np$ ابتدایی است که در راکتورهای هسته‌ای تولید می‌شود. این ایزوتوپ ناپایدار است و واپاشی آن از طریق گسیل ذرات α، β^{-}، β^{+} و γ صورت می‌گیرد. پس از وقوع تمام این واپاشی‌ها، عدد اتمی و عدد جرمی هستهٔ نهایی چقدر است؟

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.

۱۰. هنگامی که نیتروژن جو 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 به‌طور طبیعی در جو وجود دارد درهم می‌آمیزد. بررسی‌ها نشان داده است که به‌ازای هر ۱۰۰۰۰۰ میلیارد اتم پایدار کربن ۱۲، تقریباً یک اتم پرتوزای کربن ۱۴ از این طریق وارد جو می‌شود.
اتم‌های کربن جوی از طریق فعالیت‌های بیولوژیکی از قبیل فتوسنتز و تنفس، به‌نحو گاورهای مکان خود را عوض می‌کنند و به بدن جانداران منتقل می‌شوند. به‌طوری 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 خیزشده، با نیمه‌عمر ۵۷۳۰ سال رو به کاهش می‌گذارد. کربن ۱۴ موجود در یک نمونهٔ زغال قدیمی، ۱/۵۶ درصد انعطاف $(^{14}_{6}C)$ مقدار عادی کربن ۱۴ موجود در زغالی است که تازه تولید

۱۵۵





در شکل‌های بالا، سری‌های واپاشی پرتوزای $^{237}_{93}NP$ به $^{205}_{81}Ti$ که هستهٔ دختر پایداری است و همچنین $^{235}_{92}U$ به هستهٔ دختر پایدار $^{207}_{82}Pb$ نشان داده شده است.

برای مثال در ادامه تعدادی از فرایندهای مربوط به واپاشی α یا β^- اورانیم ۲۳۵ ($^{235}_{92}U$) به هستهٔ دختر پایدار سرب ۲۰۷ ($^{207}_{82}Pb$) آمده است.

$$^{235}_{92}U \rightarrow ^{231}_{90}Th + \alpha$$

$$^{231}_{90}Th \rightarrow ^{231}_{91}Pb + \beta^-$$

$$\vdots$$

$$^{207}_{81}Ti \rightarrow ^{207}_{82}Pb + \beta^-$$

یا

$$^{211}_{84}Po \rightarrow ^{207}_{82}Pb + \alpha$$

۸ همان‌طور که در تصویر مربوط پاسخ تمرین ۷ دیده می‌شود سری واپاشی پرتوزای نپتونیم ۲۳۷ ($^{237}_{93}Np$) آمده است.

$$^{237}_{93}Np \rightarrow ^{233}_{91}Pa + \alpha$$

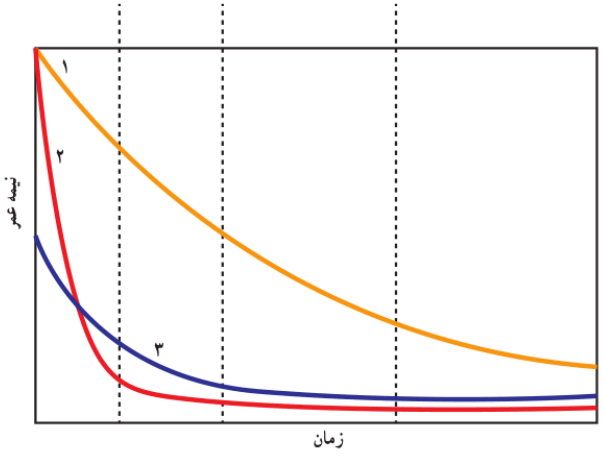
$$^{233}_{91}Pa \rightarrow ^{233}_{92}U + \beta^-$$

$$^{233}_{92}U \rightarrow ^{229}_{90}Th + \alpha$$

$$^{229}_{90}Th \rightarrow ^{225}_{88}Ra + \alpha$$

همان‌طور که دیده می‌شود $^{237}_{93}Np$ پس از واپاشی‌های α، β^-، α و α به هستهٔ دختر رادیوم ۲۲۵ ($^{225}_{88}Ra$) تبدیل می‌شود که هنوز پرتوزا است و پس از واپاشی‌های دیگر به هستهٔ دختر پایدار تالیم ۲۰۵ ($^{205}_{81}Tl$) تبدیل می‌شود.

۹ با توجه به گام‌های زمانی نشان داده شده روی نمودار شکل زیر، مشخص است که نمونه ۱، دارای بیشترین نیمه عمر و نمونهٔ ۲ دارای کمترین نیمه‌عمر است.



مهندس علی عاقلی
مدرس فیزیک
Physics_Agheli

۱۰

$$\frac{۱}{۶۴}=\left(\frac{۱}{۲}\right)^{۶}=\left(\frac{۱}{۲}\right)^{n}\Rightarrow n=۶$$

بنابراین پس از ۶ نیمه‌عمر، کربن ۱۴ موجود در نمونهٔ زغال قدیمی به ۱/۵۶ درصد مقدار کربن ۱۴ موجود در زغالی که تازه تولید شده، رسیده است. چون هر نیمه عمر ۵۷۳۰ سال طول می‌کشد، در این صورت سن تقریبی این زغال برابر است با

$$۶\times ۵۷۳۰\ \text{years}=۳۴۳۸۰\ \text{years}$$

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۶

۶ـ۱ ساختار هسته

۱. مرتبهٔ بزرگی تعداد نوترون‌هایی را که می‌توان تنگ هم در یک توپ تنیس به شعاع ۳/۷cm جای داد، تخمین بزنید. در این صورت مرتبهٔ بزرگی جرم این توپ چقدر است؟ (مرتبهٔ بزرگی شعاع و جرم نوترون را به‌ترتیب $۱۰^{-۱۵}$m و $۱۰^{-۲۷}$kg در نظر بگیرید.)

۲. برای $^{۲۰۸}_{۸۲}Pb$، مطلوب است:
الف) تعداد نوکلئون‌ها ب) تعداد نوترون‌ها
پ) بار الکتریکی خالص هسته

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) $^{۱۴}_{۶}X$ ب) $^{۲۳۵}_{۹۲}X$ پ) $^{۱}_{۱}X$

۴. آیا می‌توان اتم $^{۱۲}_{۶}X$ را با یون شیمیایی از اتم $^{۲۳}_{۱۱}Y$ جدا کرد؟ از اتم $^{۲۳}_{۱۱}Y$ چطور؟ پاسخ خود را توضیح دهید.

۶ـ۲ پرتوزایی طبیعی و نیمه‌عمر

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.
$^{۲۱۱}_{۸۲}Pb\rightarrow {}^{۲۱۱}_{۸۳}Bi+\dots$
$^{۱۱}_{۶}C\rightarrow {}^{۱۱}_{۵}B+\dots$
$^{۲۲۶}_{۹۰}Th\rightarrow {}^{۲۲۶}_{۸۸}Th+\dots$
$^{۱۸}_{۹}F\rightarrow {}^{۱۸}_{۸}O+\dots$

۶. هستهٔ دختر به‌دست‌آمده از هر یک از واپاشی‌های زیر را به‌صورت $^{A}_{Z}X$ مشخص کنید.
الف) $^{۲۳۹}_{۹۴}Pu$ واپاشی α انجام دهد.
ب) سدیم $^{۲۴}_{۱۱}Na$ واپاشی β^- انجام دهد.
پ) نیتروژن $^{۱۳}_{۷}N$ واپاشی β^+ انجام دهد.
ت) $^{۱۵}_{۸}O$ واپاشی β^+ انجام دهد.

۷. سرب $^{۲۱۲}_{۸۲}Pb$ هستهٔ دختر پایداری است که می‌تواند از واپاشی α یا واپاشی β^- حاصل شود. فرایندهای مربوط به هر یک از این واپاشی‌ها را بنویسید. در هر مورد هستهٔ مادر را به‌صورت $^{A}_{Z}X$ مشخص کنید.

۸. نپتونیم $^{۲۳۷}_{۹۳}Np$ اورانیومی است که در راکتورهای هسته‌ای تولید می‌شود. این اورانیوم ناپایدار است و واپاشی آن از طرق گسیل ذرات α، β^-، β^+ و γ صورت می‌گیرد. پس از وقوع تمام این واپاشی‌ها، عدد اتمی و عدد جرمی هستهٔ نهایی چقدر است؟

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.

۱۰. هنگامی که نیتروژن جو زمین توسط پرتوهای کیهانی (که معمولاً از جنس پروتون، ذره‌های α و الکترون هستند) بمباران می‌شود، اورانیوم پرتوزای کربن ۱۴ یا آهنگ تابشی در لایه‌های فوقانی جو تولید می‌شود. این کربن پرتوزا، با کربن ۱۲ که به‌طور طبیعی در جو وجود دارد درهم می‌آمیزد. بررسی‌ها نشان داده است که به‌ازای هر ۱۰۰۰۰ میلیارد اتم پایدار کربن ۱۲، تقریباً یک اتم پرتوزای کربن ۱۴ از این طریق وارد جو می‌شود.
اتم‌های کربن جوّی از طریق فعالیت‌های بیولوژیکی از قبیل فتوسنتز و تنفس، به‌نحو گاتوره‌ای مکان خود را عوض می‌کنند و به بدن جانداران منتقل می‌شوند. به‌طوری که اتم‌های کربن هر موجود زنده شامل کسر کوچک و ثابتی از اورانیوم 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

۱۱ چهار ساعت معادل ۴ نیمه عمر است. بنابراین $\frac{۱}{۱۶}=\left(\frac{۱}{۲}\right)^{۴}$ مادهٔ اولیه، در نمونهٔ بیسموت باقی می‌ماند.

۶ـ۲ـ شکافت هسته‌ای

۱۲ الف) اورانیم ۲۳۵، که حاوی ۹۲ پروتون و ۱۴۳ نوترون است، عنصری پرتوزا و با نیمه‌عمر بسیار زیاد حدود ۷۰۰ میلیون سال است. به عبارت دیگر، این تعداد پروتون و نوترون که در هستهٔ اتم اورانیم ۲۳۵ کنار یکدیگر جمع شده‌اند، سبب توازُن بسیار خوبی در نیروی کولنی بین پروتون‌ها و نیروی هسته‌ای بین نوکلئون‌ها شده است و سبب ایجاد هسته‌ای با پایداری نسبتاً خوب شده است که در طبیعت نیز یافت می‌شود (توجه شود که تمامی هسته‌هایی که عدد اتمی آنها بیشتر از ۸۲ است، $Z>۸۲$، ناپایدارند.)
ب) وقتی هستهٔ اتم اورانیم ۲۳۵، یک نوترون کم انرژی (یا اصطلاحاً نوترون کُند) را به دام می‌اندازد به هستهٔ مرکب و به شدت ناپایداری تبدیل می‌شود که پس از $۱۰^{-۱۲}$ ثانیه منجر به فرایند شکافت می‌شود. انرژی آزاد شده در هر فرایند شکافت، کمی بیش از ۲۰۰MeV است. این انرژی عمدتاً مربوط به انرژی جنبشی پاره‌های شکافت و نوترون‌های ایجاد شده است. از آنجا که جرم محصولات شکافت، اندکی کمتر از جرم هستهٔ مرکب اورانیم ۲۳۶ است، این اختلاف جرم بنا به رابطهٔ معروف اینشتین $E=mc^{۲}$، سبب آزاد

فیزیک ۳

شده است. سن تقریبی این زغال قدیمی چقدر است؟
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؟

۶ـ۳ شکافت هسته‌ای

۱۲. معادلهٔ زیر بخشی از واکنشی را نشان می‌دهد که در یک راکتور هسته‌ای روی می‌دهد.
$^{۲۳۵}_{۹۲}U+{}^{۱}_{۰}n\rightarrow {}^{۹۲}_{۳۶}U$
الف) اهمیت عددهای ۲۳۵ و ۹۲ را توضیح دهید.
ب) اتم‌های $^{۲۳۵}_{۹۲}U$ ناپایدارند و خود به‌خود 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 آزاد شده در این فرایند چگونه تعیین می‌شود؟
پ) اورانیم ۲۳۵ عمداً نوترون‌های با تندی کم را جذب می‌کند تا نوترون‌های سریع را، توضیح دهید چگونه تندی نوترون‌ها را در قلب راکتور کم می‌کنند.
ت) چگونه تولید انرژی را در قلب راکتور کنترل می‌کنند؟
ث) واکنش زنجیری را توضیح دهید.
ج) انرژی به‌صورت گرما در قلب راکتور تولید می‌شود. چگونه گرما از قلب راکتور گرفته و به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود؟
چ) هنگامی که میله‌های سوخت از مرکز راکتور بیرون کشیده می‌شوند، آنها «نوترون» و «اورتوب»هایی با «نیمه‌عمر» طولانی هستند. واژه‌های داخل گیومه را توضیح دهید.
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؟
ب) با سوختن هر کیلوگرم زغال سنگ، حدود ۳۰MJ انرژی گرمایی آزاد می‌شود. چند کیلوگرم زغال سنگ باید بسوزد تا معادل انرژی به دست آمده در قسمت الف، انرژی تولید شود؟
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.
$^{۱}_{۰}n+{}^{۲۳۵}_{۹۲}U\rightarrow {}^{۱۳۲}_{۵۱}Sb+{}^{A}_{Z}X+{}^{۴}_{۰}n$
در صورت لزوم از جدول تناوبی کمک بگیرید.
۱۵. در واکنش زیر چه تعداد نوترون تولید می‌شود؟
$^{۱}_{۰}n+{}^{۲۳۵}_{۹۲}U\rightarrow {}^{۱۵۳}_{۵۰}Sn+{}^{۹۹}_{۴۲}Mo+{}^{۱}_{۰}n$ نوترون‌ها
۱۶. بازده نیروگاه هسته‌ای چنانچه حدود ۳۵درصد است، یعنی ۶۵درصد انرژی حاصل از شکافت ایزوتوپ اورانیم ۲۳۵، به‌صورت 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.)

۶ـ۴ گداخت هسته‌ای

۱۷. انرژی آزادشده در هر واکنش شکافت اورانیم ۲۳۵ با یک نوترون گُند حدود ۲۰۰/۵ MeV و در هر واکنش گداخت دوتریم با تریتیم حدود ۱۷/۶ MeV است.
الف) تعداد نوکلئون‌های شرکت‌کننده در هر واکنش شکافت جفدر است؟ انرژی آزادشده به‌ازای هر نوکلئون را حساب کنید.
ب) تعداد نوکلئون‌های شرکت‌کننده در هر واکنش گداخت جفدر است؟ انرژی آزاد شده به ازای هر نوکلئون را حساب کنید.
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 به‌طور 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.

کانال تلگرام و اینستاگرام
گروه آموزشی مهندس علی عاقلی
Physics_Agheli

شدن انرژی گرمایی زیادی عمدتاً به‌صورت انرژی جنبشی پاره‌های شکافت) می‌شود.

پ) آب معمولی (H_2O)، آب سنگین (D_2O) و گرافیت (اتم‌های کربن) از جمله موادی هستند که سبب کاهش انرژی جنبشی نوترون‌ها در واکنش‌های شکافت هسته‌ای می‌شوند و اصطلاحاً نوترون‌های کُند به نوترون‌های تند تبدیل می‌شوند.

ت) با وارد کردن میله‌های کنترل به داخل قلب راکتور، آهنگ واکنش‌های شکافت و در نتیجه تعداد نوترون‌های ایجاد شده از این واکنش‌ها را کنترل می‌کنند. میله‌های کنترل معمولاً از جنس کادمیم یا بور (Boron) هستند که مواد مناسبی برای جذب نوترون به حساب می‌آیند.

ث) واکنش زنجیری در راکتورهای شکافت، با جذب نوترون‌های کند توسط هسته‌های اورانیم ۲۳۵ شروع می‌شود. در این فرایند با ایجاد هستهٔ اورانیم ۲۳۶، که به شدت ناپایدار است، پس از 10^{-12} ثانیه به دو پارهٔ شکافت و تعدادی نوترون سریع به‌وجود می‌آید. پس از کُند شدن نوترون سریع و جذب آنها توسط هسته‌های دیگر اورانیم ۲۳۵، این فرایند به‌طور زنجیری و در کسر کوچکی از زمان، ادامه پیدا می‌کند.

ج) گرمای حاصل از فرایند شکافت، توسط شاره‌ای که معمولاً آب است گرفته می‌شود و به خارج از راکتور انتقال داده می‌شود. جزئیات بیشتر در شکل ۶ــ۱۳ــ ب کتاب درسی نشان داده شده است.

چ) **پرتوزا** : یعنی هسته‌هایی که با گسیل ذرات α، β یا γ، واپاشیده می‌شوند.

ایزوتوپ : مجموعه‌ای از هسته‌های یک اتم که Z یکسان و تعداد نوترون متفاوت دارند.

نیمه‌عمر : مدت زمانی که طول می‌کشد تا نیمی از هسته‌های یک نمونهٔ پرتوزا، واپاشی کنند.

۱۳ الف) ابتدا جرم یک مول سنگ معدن طبیعی اورانیم را به‌دست می‌آوریم.

$$M(\mathrm{U}) = \frac{1}{100}(0/7\times 235 + 99/3\times 238) \approx 0/238\ \mathrm{kg/mol}$$

به این ترتیب تعداد اتم‌های 1kg سنگ معدن طبیعی اورانیم برابر است با

$$N = \left(\frac{1\ \mathrm{kg}}{0/238\ \mathrm{kg}}\right)\times 6/022\times 10^{23} = 2/53\times 10^{24}$$

تعداد اتم‌های اورانیم ۲۳۵ در mg، سنگ معدن طبیعی برابر است با

$$n = \frac{7}{1000}\times 2/53\times 10^{24} = 1/77\times 10^{22}$$

اگر تمامی این اتم‌های اورانیم ۲۳۵ بر اثر فرایند شکافت انرژی خود را آزاد کنند، انرژی آزاد شده برابر است با

$$E = 1/77\times 10^{22}\times 200\ \mathrm{meV} = 3/54\times 10^{24}\ \mathrm{meV}$$

$$= (3/54\times 10^{30}\ \mathrm{eV})\left(\frac{1/6\times 10^{-19}\ \mathrm{J}}{1\ \mathrm{eV}}\right) \simeq 5/66\times 10^{11}\ \mathrm{J}$$

ب) مقدار زغال‌سنگ که باید بسوزد تا انرژی معادل $۵/۶۶ \times ۱۰^{۱۱}$ J ایجاد کند برابر است با

$$m = (۵/۶۶ \times ۱۰^{۱۱}\ \text{J})\left(\frac{۱\ \text{kg}}{۳۰ \times ۱۰^{۶}\ \text{J}}\right) = ۱/۸۸ \times ۱۰^{۴}\ \text{kg}$$

حدود ۱۹ تن زغال‌سنگ باید بسوزد تا انرژی معادل انرژی حاصل از شکافت اورانیم‌های ۲۳۵ داخل سنگ معدن طبیعی آزاد شود. این نتیجه اهمیت غنی‌سازی اورانیم را نشان می‌دهد که برای نیروگاه‌های هسته‌ای درصد اورانیم ۲۳۵ را در میله‌های سوخت به حدود ۳ تا ۵ درصد می‌رسانند.

۱۴ $${}^{۱}_{۰}\text{n} + {}^{۲۳۵}_{۹۲}\text{U} \rightarrow {}^{۱۳۳}_{۵۱}\text{Sb} + {}^{A}_{Z}\text{X} + ۴\,{}^{۱}_{۰}\text{n}$$

با توجه به موازنه بودن عدد جرمی و عدد اتمی در دو طرف معادلهٔ واکنش، داریم

$$A = (۱+۲۳۵) - (۱۳۳+۴) = ۹۹$$

$$Z = (۹۲+۰) - (۵۱+۰) = ۴۱$$

با مراجعه به جدول تناوبی، که در پیوست پایان کتاب آمده است، نام عنصر پارهٔ شکافت نیوبیم ${}^{۹۹}_{۴۱}\text{Nb}$ است.

۱۵ با توجه به فرض مسئله، اگر توان نیروگاه را ۱۰۰۰mW در نظر بگیریم در این صورت انرژی معادل این توان در یک سال برابر است با

$$E = (۱۰^{۳} \times ۱۰^{۶}\ \frac{\text{J}}{\text{s}})(۲۴ \times ۳۶۰۰ \times ۳۶۵\ \text{s})$$

$$\simeq ۳/۱۵ \times ۱۰^{۱۶}\ \text{J} = (۳/۱۵ \times ۱۰^{۱۶}\ \text{J})\left(\frac{۱\ \text{eV}}{۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\ \text{J}}\right)$$

$$= ۱/۹۷ \times ۱۰^{۳۵}\ \text{eV} = ۱/۹۷ \times ۱۰^{۲۶}\ \text{meV}$$

از آنجا که بازدهٔ نیروگاه حدود ۳۵ درصد است، لذا تنها انرژی معادل $\frac{۳۵}{۱۰۰} \times ۲۰۰\ \text{meV}$ از هر فرایند شکافت اورانیم ۲۳۵ به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. به این ترتیب تعداد اتم‌های اورانیم ۲۳۵ که باید شکافت یابند تا انرژی معادل E را تولید کنند برابر است با

$$n = \frac{۱/۹۷ \times ۱۰^{۲۹}\ \text{meV}}{۰/۳۵ \times ۲۰۰\ \text{meV}} = ۲/۸۱ \times ۱۰^{۲۷}$$

از آنجا که جرم هر مول ($۶/۰۲۲ \times ۱۰^{۲۳}$) اورانیم ۲۳۵ معادل ۲۳۵g است، جرم اورانیم ۲۳۵ مورد نیاز برابر است با

$$m = (۰/۲۳۵\ \text{kg})\left(\frac{۲/۸۱ \times ۱۰^{۲۷}}{۶/۰۲۲ \times ۱۰^{۲۳}}\right) \simeq ۱۱۰۰\ \text{kg}$$

این مقدار اورانیم ۲۳۵ در میله‌های سوخت، که معمولاً بین ۳ تا ۵ درصد آنها حاوی اورانیم ۲۳۵ است، توزیع شده‌اند.

فیزیک ۳

نسده است. سن تقریبی این زغال قدیمی چقدر است؟

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

۳ـ۶ شکافت هسته‌ای

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

$${}^{۲۳۵}_{۹۲}\text{U} + {}^{۱}_{۰}\text{n} \rightarrow {}^{۱۳۶}_{۵۴}\text{U}$$

الف) اهمیت عددهای ۲۳۵ و ۹۲ را توضیح دهید.

ب) ایزوتوپ‌های ${}^{۱۳۶}_{۵۴}\text{U}$ ناپایدارند و خود به‌خود 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 آزاد شده در این فرایند چگونه تعیین می‌شود؟

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

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

ث) واکنش زنجیری را توضیح دهید.

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

چ) هنگامی که میله‌های سوخت از مرکز راکتور بیرون کشیده می‌شوند، آنها «نوترون» و «ایزوتوپ‌هایی با «نیمه‌عمر» طولانی هسته‌ای» وارد‌های داخل گیومه را توضیح دهید.

۱۳ الف) حدود ۰/۷درصد 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؟

ب) با سوختن هر کیلوگرم زغال سنگ، حدود ۳۰MJ انرژی گرمایی آزاد می‌شود. چند کیلوگرم زغال سنگ باید بسوزد تا معادل انرژی به دست آمده در قسمت الف، انرژی تولید شود؟

۱۴ یکی از واکنش‌های ممکن در شکافت ${}^{۲۳۵}_{۹۲}\text{U}$، داده شده است. در این واکنش عدد اتمی Z، عدد جرمی A و عنصر X را در ${}^{A}_{Z}\text{X}$ تعیین کنید.

${}^{۱}_{۰}\text{n} + {}^{۲۳۵}_{۹۲}\text{U} \rightarrow {}^{۱۳۳}_{۵۱}\text{Sb} + {}^{A}_{Z}\text{X} + ۴\,{}^{۱}_{۰}\text{n}$

در صورت لزوم از جدول تناوبی کمک بگیرید.

۱۵ در واکنش زیر چه تعداد نوترون تولید می‌شود؟

نوترون‌ها $+ {}^{۹۹}_{۴۲}\text{Mo} + {}^{۱۳۳}_{۵۱}\text{Sb} + {}^{۱}_{۰}\text{n} \rightarrow {}^{۲۳۵}_{۹۲}\text{U} + {}^{۱}_{۰}\text{n}$

۱۶ بازده نیروگاه هسته‌ای پوشهر حدود ۳۵درصد است. یعنی ۶۵درصد انرژی حاصل از شکافت ایزوتوپ اورانیم ۲۳۵، به‌صورت 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 بادبار ۱۰۰۰ مگاوات کار می‌کند.)

۴ـ۶ گداخت هسته‌ای

۱۷ انرژی آزادشده در هر واکنش شکافت اورانیم ۲۳۵ با یک نوترون گُند حدود ۲۰۲/۵ MeV و در هر واکنش گداخت دوتریم با تریتیم حدود ۱۷/۶ MeV است.

الف) تعداد نوکلئون‌های شرکت‌کننده در هر واکنش شکافت چقدر است؟ انرژی آزادشده به‌ازای هر نوکلئون را حساب کنید.

ب) تعداد نوکلئون‌های شرکت‌کننده در هر واکنش گداخت چقدر است؟ انرژی آزاد شده به ازای هر نوکلئون را حساب کنید.

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 ${}^{۲۳۵}\text{U}$ به مقدار بسیار کمی در طبیعت وجود دارد ولی دوتریم به‌طور 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.

۱۵۶

۱۷ الف) فرایند شکافت، با جذب یک نوترون کُند توسط هستهٔ اورانیم ۲۳۵ آغاز می‌شود. بنابراین تعداد نوکلئون‌هایی که در این فرایند مشارکت دارند برابر ۲۳۶ عدد است. به این ترتیب انرژی آزاد شده در فرایند شکافت به ازای هر نوکلئون برابر است با

$$E = \frac{۲۰۲/۵\ \text{MeV}}{۲۳۶} \approx ۰/۸۵\ \text{MeV}$$

ب) واکنش گداخت یا در هم گداخته شدن دوتریم (شامل ۲ نوکلئون) و تریتیم (شامل ۳ نوکلئون) آغاز می‌شود. به این ترتیب در هر واکنش گداخت ۵ نوکلئون مشارکت دارند. انرژی آزاد شده در فرایند گداخت به ازای هر نوکلئون برابر است با

$$E = \frac{۱۷/۶\ \text{MeV}}{۵} = ۳/۵۲\ \text{MeV}$$

پ) همان‌طور که نتایج قسمت‌های الف و ب نشان می‌دهد انرژی آزاد شده به ازای هر نوکلئون در فرایند گداخت، بیش از ۴ برابر انرژی آزاده شده به ازای هر نوکلئون در فرایند شکافت است. این موضوع و فراوانی دوتریم در آب اقیانوس‌ها و دریاها، نشان‌دهنده اهمیت سرمایه‌گذاری روی راکتورهای گداخت است.

فیزیک ۳

شده است. سن تقریبی این زغال قدیمی چقدر است؟

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

۶ـ۳ شکافت هسته‌ای

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

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

الف) اهمیت عددهای ۲۳۵ و ۹۲ را توضیح دهید.

ب) اتم‌های ${}^{۲۳۶}_{۹۲}\text{U}$ ناپایدارند و خود به‌خود 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 آزاد شده در این فرایند چگونه تعیین می‌شود؟

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.

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

ث) واکنش زنجیری را توضیح دهید.

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

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

۱۳. الف) حدود ۰/۷ درصد اورانیوم موجود در سنگ معدن طبیعی اورانیم از ایزوتوپ ۲۳۵ تشکیل شده است. در هر واکنش شکافت حدود ۲۰۰ MeV 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؟

ب) با سوختن هر کیلوگرم زغال سنگ، حدود ۳۰ MJ انرژی گرمایی آزاد می‌شود. چند کیلوگرم زغال سنگ باید بسوزد تا معادل انرژی به دست آمده در قسمت الف، انرژی تولید شود؟

۱۴. یکی از واکنش‌های ممکن در شکافت ${}^{۲۳۵}_{۹۲}\text{U}$، داده شده است. در این واکنش عدد اتمی Z، عدد جرمی A و عنصر X را در ${}^{A}_{Z}\text{X}$ تعیین کنید.

${}^{۱}_{۰}\text{n} + {}^{۲۳۵}_{۹۲}\text{U} \rightarrow {}^{۱۳۳}_{۵۱}\text{Sb} + {}^{A}_{Z}\text{X} + ۲{}^{۱}_{۰}\text{n}$

در صورت لزوم از جدول تناوبی کمک بگیرید.

۱۵. در واکنش زیر چه تعداد نوترون تولید می‌شود؟

نوترون‌ها $+ {}^{۹۷}_{۴۲}\text{Mo} + {}^{۱}_{۰}\text{n} \rightarrow {}^{۱۳۳}_{۵۰}\text{Sn} + {}^{۲۳۵}_{۹۲}\text{U} + {}^{۱}_{۰}\text{n}$

۱۶. بازده نیروگاه هسته‌ای بوشهر حدود ۳۵ درصد است. یعنی ۶۵ درصد انرژی حاصل از شکافت ایزوتوپ اورانیم ۲۳۵، به‌صورت گرما تلف و حدود ۳۵ درصد آن، به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. با توجه به اینکه در هر شکافت حدود ۲۰۰ MeV انرژی آزاد می‌شود، چند کیلوگرم اورانیم ۲۳۵ در سال شکافت پیدا می‌کند؟ (فرض کنید نیروگاه در طول سال با توان بابدار ۱۰۰۰ مگاوات کار می‌کند.)

۶ـ۴ گداخت هسته‌ای

۱۷. انرژی آزادشده در هر واکنش شکافت اورانیم ۲۳۵ با یک نوترون کُند حدود ۲۰۲/۵ MeV و در هر واکنش گداخت دوتریم با تریتیم حدود ۱۷/۶ MeV است.

الف) تعداد نوکلئون‌های شرکت‌کننده در هر واکنش شکافت چقدر است؟ انرژی آزادشده به‌ازای هر نوکلئون را حساب کنید.

ب) تعداد نوکلئون‌های شرکت‌کننده در هر واکنش گداخت چقدر است؟ انرژی آزاد شده به ازای هر نوکلئون را حساب کنید.

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 ${}^{۲۳۵}\text{U}$ به مقدار بسیار کمی در طبیعت وجود دارد ولی دوتریم به‌طور 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.

۱۵۶