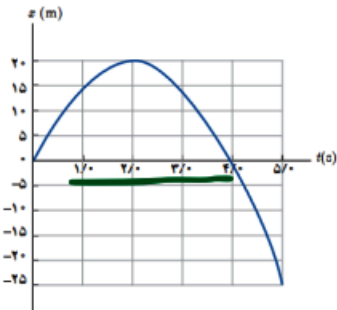




شکل رویه‌رو، نمودار مکان - زمان خودرویی را نشان می‌دهد که روی خط راست حرکت می‌کند.

الف) با استفاده از داده‌های روی شکل، سرعت متوسط خودرو را در هر یک از بازه‌های زمانی ۰/۰ s تا ۲/۰ s، ۲/۰ s تا ۴/۰ s تا ۴/۰ s، ۴/۰ s تا ۵/۰ s، ۵/۰ s تا ۴/۰ s، ۴/۰ s تا ۵/۰ s حساب کنید.

ب) در کدام یک از این بازه‌های زمانی، سرعت متوسط در جهت محور  $x$  و در کدام یک در خلاف جهت محور  $x$  است؟

**پاسخ:** الف) با توجه به داده‌های روی نمودار و بنا به رابطه ۱-۳، سرعت متوسط خودرو برای هر یک از بازه‌های زمانی خواسته شده، برابر است با:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{20 \text{ m} - 0 \text{ m}}{2.0 \text{ s} - 0.0 \text{ s}} = 10 \text{ m/s}$$

بازه زمانی ۰/۰ s تا ۲/۰ s

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0 \text{ m} - 20 \text{ m}}{4.0 \text{ s} - 2.0 \text{ s}} = -10 \text{ m/s}$$

بازه زمانی ۲/۰ s تا ۴/۰ s

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0 \text{ m} - 20 \text{ m}}{4.0 \text{ s} - 0.0 \text{ s}} = -5 \text{ m/s}$$

بازه زمانی ۰/۰ s تا ۴/۰ s

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-25 \text{ m} - 20 \text{ m}}{5.0 \text{ s} - 2.0 \text{ s}} = -15 \text{ m/s}$$

بازه زمانی ۲/۰ s تا ۵/۰ s

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-25 \text{ m} - 0 \text{ m}}{5.0 \text{ s} - 4.0 \text{ s}} = -25 \text{ m/s}$$

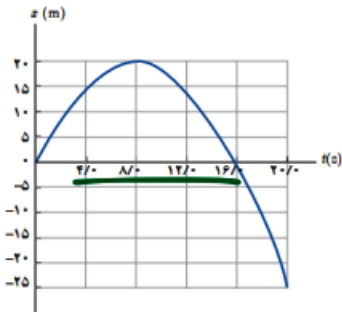
بازه زمانی ۴/۰ s تا ۵/۰ s

ب) در بازه‌های زمانی‌ای که سرعت متوسط خودرو مثبت است، سرعت متوسط خودرو در جهت محور  $x$  و در بازه‌های زمانی‌ای که سرعت متوسط منفی است، سرعت متوسط خودرو در خلاف جهت محور  $x$  است.

شکل رویه‌رو، نمودار مکان-زمان موتورسواری را نشان می‌دهد که روی خط راست حرکت می‌کند.

الف) با استفاده از داده‌های روی شکل، سرعت متوسط موتورسوار را در هر یک از بازه‌های زمانی  $0\text{ s}$  تا  $1\text{ s}$ ،  $1\text{ s}$  تا  $2\text{ s}$ ،  $2\text{ s}$  تا  $3\text{ s}$ ،  $3\text{ s}$  تا  $4\text{ s}$  و  $4\text{ s}$  تا  $5\text{ s}$  حساب کنید.

ب) در کدام یک از این بازه‌های زمانی، سرعت متوسط در جهت محور  $x$  و در کدام یک در خلاف جهت محور  $x$  است؟



پاسخ: الف) با توجه به داده‌های روی نمودار و بنا به رابطه ۱-۳، سرعت متوسط موتورسوار برای هر یک از بازه‌های زمانی خواسته شده، برابر است با:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{10\text{ m} - 0\text{ m}}{1\text{ s} - 0\text{ s}} = 10\text{ m/s}$$

بازه زمانی  $0\text{ s}$  تا  $1\text{ s}$

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{20\text{ m} - 10\text{ m}}{2\text{ s} - 1\text{ s}} = 10\text{ m/s}$$

بازه زمانی  $1\text{ s}$  تا  $2\text{ s}$

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{10\text{ m} - 20\text{ m}}{3\text{ s} - 2\text{ s}} = -10\text{ m/s}$$

بازه زمانی  $2\text{ s}$  تا  $3\text{ s}$

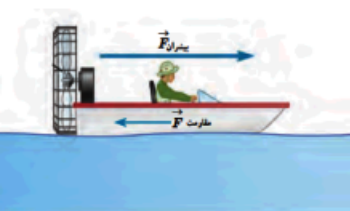
$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-25\text{ m} - 10\text{ m}}{4\text{ s} - 3\text{ s}} = -35\text{ m/s} \approx -35\text{ m/s}$$

بازه زمانی  $3\text{ s}$  تا  $4\text{ s}$

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-25\text{ m} - 0\text{ m}}{5\text{ s} - 4\text{ s}} = -25\text{ m/s} \approx -25\text{ m/s}$$

بازه زمانی  $4\text{ s}$  تا  $5\text{ s}$

ب) در بازه‌های زمانی‌ای که سرعت متوسط موتورسوار مثبت است، سرعت متوسط موتورسوار در جهت محور  $x$  و در بازه‌های زمانی‌ای که سرعت متوسط منفی است، سرعت متوسط موتورسوار در خلاف جهت محور  $x$  است.



نیروی موتور یک قایق موتوری که جرم آن با سرنشینش  $400\text{ kg}$  است، به گونه‌ای تنظیم می‌شود که در بازه زمانی معینی، همواره نیروی افقی خالص  $800\text{ N}$  به طرف جلو بر قایق وارد می‌شود. الف) شتاب این قایق چقدر و در چه جهتی است؟ ب) اگر نیروی پیشران در یک لحظه  $1300\text{ N}$  باشد، نیروی مقاومت در آن لحظه چقدر است؟

پ) چقدر طول می‌کشد تا سرعت قایق از حالت سکون به  $15/0\text{ m/s}$  برسد؟ در این مدت قایق چقدر جابه‌جا می‌شود؟

**پاسخ:** الف) از قانون دوم نیوتون برای پیدا کردن شتاب قایق استفاده می‌کنیم. قایق در یک مسیر مستقیم حرکت می‌کند می‌توان رابطه  $1-2$  را برای یک راستا به صورت  $a = \frac{F_{net}}{m}$  نوشت:

$$a = \frac{F_{net}}{m} = \frac{800\text{ N}}{400\text{ kg}} = 2/00\text{ N/kg} = 2/00\text{ m/s}^2$$

با توجه به اینکه جهت شتاب همواره در جهت نیروی خالص است، شتاب قایق به طرف جلو خواهد بود.

ب) نیروی پیشران و مقاومت در یک راستا هستند، بنابراین می‌توانیم بنویسیم:

$$F_{net} = F_{پیشران} - F_{مقاومت} \Rightarrow 800\text{ N} = 1300\text{ N} - F_{مقاومت}$$

$$F_{مقاومت} = 500\text{ N}$$

پ) از رابطه سرعت - زمان و سرعت - جابه‌جایی در حرکت با شتاب ثابت استفاده می‌کنیم.

$$v = at + v_0 \Rightarrow 15/0\text{ m/s} = (2/00\text{ m/s}^2)t + 0\text{ m/s} \Rightarrow t = 7/5\text{ s}$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x \Rightarrow \Delta x = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{(15/0\text{ m/s})^2 - (0/0\text{ m/s})^2}{2(2/00\text{ m/s}^2)} = 56/3\text{ m}$$

به این ترتیب با داشتن نیروی خالص می‌توانیم کمیت‌های شتاب، سرعت، زمان حرکت، مکان و جابه‌جایی را به دست آوریم.

نیروی موتور یک قایق موتوری که جرم آن با سرنشینش  $400 \text{ kg}$  است، به گونه‌ای تنظیم می‌شود که در بازه زمانی معینی، همواره نیروی افقی خالص  $800 \text{ N}$  به طرف جلو بر قایق و سرنشین وارد می‌شود. الف) شتاب این قایق چقدر و در چه جهتی است؟ ب) اگر نیروی پیشران در یک لحظه  $1300 \text{ N}$  باشد، نیروی مقاومت هوا و آب در آن لحظه چقدر است؟

پ) چقدر طول می‌کشد تا سرعت قایق از حالت سکون به  $15/0 \text{ m/s}$  برسد؟ در این مدت قایق چقدر جابه‌جا می‌شود؟

**پاسخ:** الف) از قانون دوم نیوتون برای پیدا کردن شتاب قایق استفاده می‌کنیم. قایق در یک مسیر مستقیم حرکت می‌کند، می‌توان رابطه ۲-۱ را برای یک راستا به صورت  $a = \frac{F_{net}}{m}$  نوشت:

$$a = \frac{F_{net}}{m} = \frac{800 \text{ N}}{400 \text{ kg}} = 2/0 \text{ N/kg} = 2/0 \text{ m/s}^2$$

با توجه به اینکه جهت شتاب همواره در جهت نیروی خالص است، شتاب قایق به طرف جلو خواهد بود.

ب) نیروی پیشران و مقاومت در یک راستا هستند، بنابراین می‌توانیم بنویسیم:

$$F_{net} = F_{پیشران} - F_{مقاومت} \Rightarrow 800 \text{ N} = 1300 \text{ N} - F_{مقاومت}$$

$$F_{مقاومت} = 500 \text{ N}$$

پ) از رابطه سرعت-زمان و سرعت-جابه‌جایی در حرکت با شتاب ثابت استفاده می‌کنیم.

$$v = at + v_i \Rightarrow 15/0 \text{ m/s} = (2/0 \text{ m/s}^2)t + 0 \text{ m/s} \Rightarrow t = 7/5 \text{ s}$$

$$v^2 = v_i^2 + 2a\Delta x \Rightarrow \Delta x = \frac{v^2 - v_i^2}{2a} = \frac{(15/0 \text{ m/s})^2 - (0 \text{ m/s})^2}{2(2/0 \text{ m/s}^2)} = 56/25 \text{ m}$$

به این ترتیب با داشتن نیروی خالص می‌توانیم کمیت‌های شتاب، سرعت، زمان حرکت، مکان و جابه‌جایی را به دست آوریم.



دو شخص به جرم‌های  $۷۵/۰\text{ kg}$  و  $۵۰/۰\text{ kg}$  با کفش‌های چرخ‌دار در یک سالن مسطح و صاف روی‌روی هم ایستاده‌اند. شخص اول با نیروی  $۱۰۰/۰\text{ N}$  شخص دوم را به طرف راست هل می‌دهد.

الف) شتابی که شخص دوم می‌گیرد چقدر است؟

ب) شتابی که شخص اول می‌گیرد چقدر است؟

**پاسخ:** از قانون سوم نیوتون می‌دانیم نیرویی که شخص اول به دوم وارد می‌کند ( $\vec{F}_{12}$ ) هم‌اندازه و در خلاف جهت نیرویی است که شخص دوم به اول وارد می‌کند ( $\vec{F}_{21}$ ). با انتخاب جهت مثبت محور  $x$  به طرف راست می‌توانیم بنویسیم:

$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12} \Rightarrow F_{21} = F_{12} = 100/0\text{ N}$$

$$\vec{a}_2 = \frac{\vec{F}_{12}}{m} = \frac{(100/0\text{ N}) \vec{i}}{50/0\text{ kg}} = (2/0 \cdot \frac{\text{N}}{\text{kg}}) \vec{i} = (2/0 \cdot \text{m/s}^2) \vec{i}$$

$$\vec{a}_1 = \frac{\vec{F}_{21}}{m} = \frac{-(100/0\text{ N}) \vec{i}}{75/0\text{ kg}} = -(1/33 \frac{\text{N}}{\text{kg}}) \vec{i} = -(1/33 \text{ m/s}^2) \vec{i}$$

توجه کنید نیروهای وارد بر هر دو نفر هم‌اندازه بوده است، اما به علت متفاوت بودن جرم‌ها، شتاب‌ها متفاوت شده است.

## پرسش ۵-۲

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

## ۲-۲ معرفی برخی از نیروهای خاص

بنا به قانون دوم نیوتون ( $\vec{F}_{net} = m\vec{a}$ ) برای بررسی حرکت یک جسم باید نیروهای وارد بر آن جسم را تعیین کنیم. به همین دلیل لازم است با انواع نیروها آشنا شویم. در این بخش تعدادی از نیروهایی را که با آنها بیشتر سروکار داریم، معرفی می‌کنیم.

**وزن:** همان‌طور که در علوم هفتم خواندیم وزن یک جسم روی زمین، نیروی گرانشی است که از طرف زمین بر جسم وارد می‌شود (شکل ۲-۶). وقتی جسمی را در نزدیکی سطح زمین رها می‌کنیم، وزن آن سبب می‌شود تا جسم به طرف زمین شتاب پیدا کند. اگر از نیروی مقاومت هوا در مقابل حرکت چشم‌پوشی شود، طبق قانون دوم نیوتون می‌توانیم بنویسیم:

$$\text{شتاب} \times \text{جرم جسم} = \text{وزن جسم}$$

اگر جرم جسم را با  $m$ ، شتاب گرانشی را با  $\vec{g}$  و وزن را با  $\vec{W}$  نشان دهیم، رابطه بالا به شکل

زیر درمی‌آید:



شکل ۲-۶: وزن بر جسم نیروی گرانش



دو شخص به جرم‌های  $m_1 = 75/0 \text{ kg}$  و  $m_2 = 50/0 \text{ kg}$  با کفش‌های چرخ‌دار در یک سالن مسطح و صاف روی‌روی هم ایستاده‌اند. شخص اول با نیروی  $100/0 \text{ N}$  شخص دوم را به طرف راست هل می‌دهد.

الف) شتابی که شخص دوم می‌گیرد چقدر است؟

ب) شتابی که شخص اول می‌گیرد چقدر است؟

**پاسخ:** از قانون سوم نیوتون می‌دانیم نیرویی که شخص اول به دوم وارد می‌کند ( $\vec{F}_{12}$ ) هم‌اندازه و در خلاف جهت نیرویی است که شخص دوم به اول وارد می‌کند ( $\vec{F}_{21}$ ). با انتخاب جهت مثبت محور  $x$  به طرف راست می‌توانیم بنویسیم:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \Rightarrow F_{12} = F_{21} = 100/0 \text{ N}$$

$$\vec{a}_2 = \frac{\vec{F}_{12}}{m_2} = \frac{(100/0 \text{ N}) \vec{i}}{50/0 \text{ kg}} = (2/0 \cdot \frac{\text{N}}{\text{kg}}) \vec{i} = (2/0 \cdot \text{m/s}^2) \vec{i}$$

$$\vec{a}_1 = \frac{\vec{F}_{21}}{m_1} = \frac{-(100/0 \text{ N}) \vec{i}}{75/0 \text{ kg}} = -(1/33 \frac{\text{N}}{\text{kg}}) \vec{i} = -(1/33 \text{ m/s}^2) \vec{i}$$

توجه کنید نیروهای وارد بر هر دو نفر هم‌اندازه بوده است، اما به علت متفاوت بودن جرم‌ها، شتاب‌ها متفاوت شده است.

## ۲-۲ معرفی برخی از نیروهای خاص

بنا به قانون دوم نیوتون ( $\vec{F}_{net} = m \vec{a}$ ) برای بررسی حرکت یک جسم باید نیروهای وارد بر آن جسم را تعیین کنیم. به همین دلیل لازم است با انواع نیروها آشنا شویم. در این بخش تعدادی از نیروهایی را که با آنها بیشتر سروکار داریم، معرفی می‌کنیم.

وزن: همان‌طور که در علوم هفتم خواندیم وزن یک جسم روی زمین، نیروی گرانشی است که از طرف زمین بر جسم وارد می‌شود (شکل ۲-۶). وقتی جسمی را در نزدیکی سطح زمین رها می‌کنیم، وزن آن سبب می‌شود تا جسم به طرف زمین شتاب پیدا کند. اگر از نیروی مقاومت هوا در مقابل حرکت چشم‌پوشی شود (حرکت سقوط آزاد)، طبق قانون دوم نیوتون می‌توانیم بنویسیم:

شتاب  $\times$  جرم جسم = وزن جسم

اگر جرم جسم را با  $m$ ، شتاب گرانشی را با  $\vec{g}$  و وزن را با  $\vec{W}$  نشان دهیم، رابطه بالا به شکل



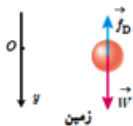
توجه داریم که جهت وزن و در نتیجه شتاب گرانشی همواره به طرف زمین (مرکز زمین) است. جرم یک جسم در مکان‌های مختلف ثابت است، اما وزن آن طبق رابطه ۲-۳ به مقدار  $\vec{g}$  در آن مکان بستگی دارد. مثلاً اگر جرم شخصی  $60\text{ kg}$  باشد، در محلی که  $g = 9.80\text{ N/kg}$  است، وزن آن  $588\text{ N}$  و در بالونی که در ارتفاع زیاد حرکت می‌کند و در آن ارتفاع  $g = 9.76\text{ N/kg}$  است تقریباً  $586\text{ N}$  است. شتاب جاذبه در سطح زمین تقریباً  $9.8\text{ N/kg}$  است.

توجه داریم که جهت وزن و شتاب گرانشی همواره به طرف زمین (مرکز زمین) است. جرم یک جسم در مکان‌های مختلف ثابت است، اما وزن آن طبق رابطه ۲-۳ به مقدار  $\vec{g}$  در آن مکان بستگی دارد. مثلاً اگر جرم شخصی  $60\text{ kg}$  باشد، در محلی که  $g = 9.80\text{ N/kg}$  است، وزن آن  $588\text{ N}$  و در بالونی که در ارتفاع زیاد حرکت می‌کند و در آن ارتفاع  $g = 9.76\text{ N/kg}$  است وزن آن تقریباً  $586\text{ N}$  است. شتاب جاذبه در سطح زمین تقریباً  $9.8\text{ N/kg}$  است.

دو گوی هم اندازه را که جرم یکی دو برابر دیگری است ( $m_2 = 2m_1$ ) از بالای برجی به ارتفاع  $h$  به طور هم زمان رها می کنیم. با فرض اینکه نیروی مقاومت هوا در طی حرکت دو گوی ثابت و یکسان باشد، تندی برخورد کدام گوی با زمین بیشتر است؟

**پاسخ:** بر این گوی ها، دو نیروی وزن و مقاومت هوا وارد می شود. طبق قانون دوم نیوتون، نیروی خالص وارد بر گوی برابر

با حاصل ضرب جرم در شتاب است. نیروی مقاومت هوا را با  $f_D$  و وزن را با  $W$  نشان می دهیم و برای بررسی ساده تر حرکت گوی ها، جهت مثبت محور  $y$  را به طرف پایین انتخاب می کنیم:



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

یعنی با در نظر گرفتن مقاومت هوا، هر چه  $m$  بیشتر باشد، شتاب حرکت بیشتر است. در نتیجه  $a_2 > a_1$  است.

طبق رابطه سرعت - جابه جایی می توانیم بنویسیم:

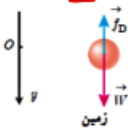
$$v^2 - v_1^2 = 2a\Delta y \Rightarrow v^2 - 0 = 2ah \Rightarrow v = \sqrt{2ah} \Rightarrow v_2 > v_1$$

یعنی در این مثال تندی برخورد گوی سنگین تر، بیشتر از گوی سبک تر است.

# اضافه شدن متن به سوال و پاسخ

مثال ۵-۲

دو گوی هم اندازه را که جرم یکی دو برابر دیگری است ( $m_2 = 2m_1$ ) از ارتفاع نسبتاً زیاد  $h$  رها می‌کنیم. به گونه‌ای که گوی‌ها در مسیر سقوط به تندی حدی می‌رسند و سپس با زمین برخورد می‌کنند. با فرض اینکه نیروی مقاومت هوا در حرکت گوی‌ها، در تندی‌های یکسان، برابر است؛ الف) قبل از رسیدن به تندی حدی و در تندی‌های یکسان، شتاب گوی‌ها را مقایسه کنید. ب) کدام گوی با تندی بیشتر به زمین برخورد می‌کند؟



**پاسخ:** الف) بر این گوی‌ها، دو نیروی وزن و مقاومت هوا وارد می‌شود. طبق قانون دوم نیوتون، نیروی خالص وارد بر گوی برابر با حاصل ضرب جرم در شتاب است. نیروی مقاومت هوا را با  $f_D$  و وزن را با  $W$  نشان می‌دهیم و برای بررسی ساده‌تر حرکت گوی‌ها، جهت مثبت محور  $y$  را به طرف پایین انتخاب می‌کنیم:

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

یعنی با در نظر گرفتن مقاومت هوا، هر چه  $m$  بیشتر باشد، شتاب حرکت بیشتر است. در نتیجه  $a_2 > a_1$  است.

$$mg - f_D = ma, a = 0 \Rightarrow f_D = mg$$

ب) در حالتی که گوی‌ها به تندی حدی می‌رسند:

$$m_2 > m_1 \Rightarrow f_{D_2} > f_{D_1}$$

می‌دانیم هر چقدر تندی جسم بیشتر باشد، نیروی مقاومت شاره نیز بیشتر است. بنابراین

یعنی تندی برخورد گوی سنگین‌تر، بیشتر از گوی سبک‌تر است.

$$v_2 > v_1$$

۸. دو گوی هم‌اندازه را که جرم یکی دو برابر دیگری است  $(m_2 = 2m_1)$  از بالای برجی به ارتفاع  $h$  به‌طور هم‌زمان رها می‌کنیم. با فرض اینکه نیروی مقاومت هوا در طی حرکت دو گوی ثابت و یکسان باشد، تندی برخورد کدام گوی با زمین بیشتر است؟ چرا؟

اضافه شدن سوال جدید  
توجه : سوال 8 چاپ قبلی حذف یا  
جایگزین نشده، بلکه به سوال بعدی در  
چاپ جدید منتقل شده

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

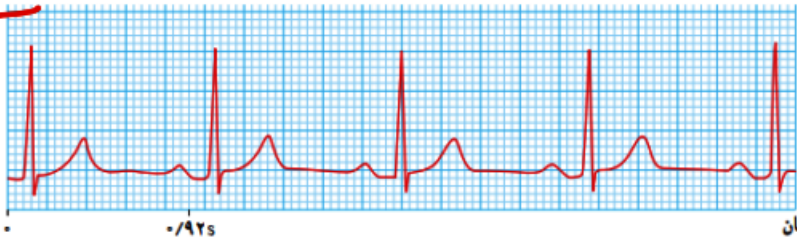
- الف) جسم روی سطح افقی بدون اصطکاک حرکت کند.
  - ب) جسم روی سطح افقی با ضریب اصطکاک  $0.2$  به طرف راست حرکت کند، و شتابش نیز به طرف راست باشد.
  - پ) جسم در راستای قائم با شتاب رو به بالا شروع به حرکت کند.
  - ت) جسم در راستای قائم با شتاب رو به پایین شروع به حرکت کند.
- x**

۱. می‌خواهیم به جسمی که جرم آن  $5 \text{ kg}$  است، شتاب  $2 \text{ m/s}^2$  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  $0.2$  به طرف راست حرکت کند و شتابش نیز به طرف راست باشد.
- (پ) جسم در راستای قائم با شتاب  $2 \text{ m/s}^2$  رو به بالا حرکت کند.
- (ت) جسم در راستای قائم با شتاب  $2 \text{ m/s}^2$  رو به پایین حرکت کند.



شکل ۳-۲ نمونه‌ای از نمودار الکترود قلب نگارهٔ ' (نوار قلب) یک شخص'

و فشار



شکل ۳-۲ نمونه‌ای از نمودار الکترود قلب نگارهٔ (توار قلب) یک شخص



هر گاه در ناحیه‌ای از یک محیط کشسان، ارتعاشی به وجود آید، موجب پدیده آمدن ارتعاش‌های پی‌درپی دیگری می‌شود که از محل شروع ارتعاش دور و دورترند و به این ترتیب آنچه که **موج مکانیکی** می‌نامند، به وجود می‌آید. معمولاً موج‌ها را به دو دسته تقسیم‌بندی می‌کنند: **موج‌های مکانیکی و موج‌های الکترومغناطیسی**. موج‌های مکانیکی - مانند موج‌های روی سطح آب (شکل ۳-۱) و موج‌های صوتی - برای انتشار خود به یک محیط مادی نیاز دارند و موج‌های الکترومغناطیسی - مانند نور مرئی، موج‌های رادیویی و تلویزیونی، میکروموج و پرتوهای X - برای انتشار خود به محیط مادی نیاز ندارند.

به رغم متفاوت بودن منشأ امواج مکانیکی و الکترومغناطیسی، همگی آنها مشخصه‌های یکسانی دارند و رفتار آنها از قاعده‌هایی کلی پیروی می‌کند که در هر پدیده موجی برقرار است.

اگر مانند شکل ۳-۱۱ یک سربلند<sup>۱</sup> کشیده شده‌ای را به سرعت به چپ و راست تکان دهید، موجی مطابق شکل در طول فنر منتشر می‌شود که به آن **تپ** می‌گویند. اگر سربلند فنر را مانند شکل ۳-۱۲ رو به بالا حرکت دهید، بخش مجاور آن نیز از طریق کشش بین این دو بخش شروع به بالا رفتن می‌کند. وقتی بخش مجاور به بالا حرکت کند، این بخش نیز به نوبه خود شروع به بالا کشیدن بخش بعدی می‌کند و این روند ادامه می‌یابد. به همین ترتیب، پایین کشیدن سربلند فنر موجب



## ۳-۵ موج و انواع آن



هر گاه در ناحیه‌ای از یک محیط کشسان، ارتعاشی به وجود آید، موجب پدید آمدن ارتعاش‌های پی‌درپی دیگری می‌شود که از محل شروع ارتعاش دور و دورترند و به این ترتیب آنچه که **موج مکانیکی** می‌نامند، به وجود می‌آید. معمولاً موج‌ها را به دو دسته تقسیم‌بندی می‌کنند: **موج‌های مکانیکی و موج‌های الکترومغناطیسی**. موج‌های مکانیکی – مانند موج‌های روی سطح آب (شکل ۳-۱) و موج‌های صوتی – برای انتشار خود به یک محیط مادی نیاز دارند و موج‌های الکترومغناطیسی – مانند نور مرئی، موج‌های رادیویی و تلویزیونی، میکروموج و پرتوهای X – برای انتشار خود به محیط مادی نیاز ندارند، اما در محیط مادی نیز می‌توانند منتشر شوند.

به‌رغم متفاوت بودن منشأ امواج مکانیکی و الکترومغناطیسی، همگی آنها مشخصه‌های یکسانی دارند و رفتار آنها از قاعده‌هایی کلی پیروی می‌کند که در هر پدیده موجی برقرار است.

اگر مانند شکل ۳-۱۱ یک سر فنر بلند<sup>۱</sup> کشیده شده‌ای را به سرعت به چپ و راست تکان دهید، موجی مطابق شکل در طول فنر منتشر می‌شود که به آن **تپ** می‌گویند. اگر سر آزاد فنر را مانند شکل ۳-۱۲ رو به بالا حرکت دهید، بخش مجاور آن نیز از طریق کشش بین این دو بخش شروع به بالا رفتن می‌کند. وقتی بخش مجاور به بالا حرکت کند، این بخش نیز به نوبه خود شروع به بالا کشیدن بخش بعدی می‌کند و این روند ادامه می‌یابد. به همین ترتیب، پایین کشیدن سر آزاد فنر موجب



شکل ۳-۱۱ نمایش ایجاد موج در یک فنر بلند کشیده

۱- به این فنر، فنر اسلینکی (Slinky) می‌گویند.



در سازهای زهی همانند تار، کمانچه و گیتار با سفت یا شُل کردن تار، تندی انتشار موج عرضی در تار تغییر می‌کند. در یک گیتار طول هر تار بین دو انتهای ثابت  $0.628\text{m}$  است. برای نواختن بالاترین بسامد، جرم تار  $0.208\text{g}$  و برای نواختن پایین‌ترین بسامد، جرم تار  $2.32\text{g}$  است. تارها تحت کششی برابر  $226\text{N}$  قرار دارند. تندی انتشار موج برای ایجاد این دو بسامد چقدر است؟

**انتقال انرژی در موج عرضی :** هر موجی حامل انرژی است. وقتی در یک ریسمان یا فنر کشیده موجی عرضی را ایجاد می‌کنیم، در واقع، انرژی را برای ایجاد موج در ریسمان فراهم کرده‌ایم. با انتشار موج، این انرژی به صورت انرژی جنبشی و پتانسیل در ریسمان انتقال می‌یابد. انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل لازم برای حرکت و کشیدگی هر جزء ریسمان یا فنر را شخصی تأمین می‌کند که سر ریسمان یا فنر را دائماً به نوسان درمی‌آورد. ثابت می‌شود مقدار متوسط آهنگ انتقال انرژی (توان متوسط) در یک موج سینوسی برای همه انواع امواج مکانیکی با مربع دامنه ( $A^2$ ) و نیز مربع بسامد ( $f^2$ ) موج متناسب است.

**امواج الکترومغناطیسی :** در کتاب فیزیک ۲ آموختیم که بار الکتریکی، میدان الکتریکی ایجاد می‌کند و جریان الکتریکی، میدان مغناطیسی تولید می‌کند. اگر بارهای الکتریکی ساکن باشند، میدان الکتریکی حاصل از آنها با زمان تغییر نمی‌کند. به همین ترتیب اگر جریان الکتریکی ثابت باشد، میدان مغناطیسی حاصل از آن ثابت و بدون تغییر می‌شود. امواج الکترومغناطیسی از رابطه متقابل



جیمز کلارک ماکسول (۱۸۳۱-۱۸۷۹ م.)

در شهر ادینبورگ اسکاتلند زاده شد. جیمز در دوران دانش‌آموزی بسیار کنجکاو بود و به ساختن اسباب‌ها و دستگاه‌های فنی خیل علاقه داشت و پدرش، هم‌او را به این



در سازه‌های زهی همانند تار، کمانچه و گیتار با سفت یا شُل کردن تار، تندی انتشار موج عرضی در تار تغییر می‌کند. در یک گیتار طول هر تار بین دو انتهای ثابت  $0.628\text{m}$  است. برای نواختن بالاترین بسامد، جرم تار  $0.208\text{g}$  و برای نواختن پایین‌ترین بسامد، جرم تار  $2/32\text{g}$  است. تارها تحت کششی برابر  $226\text{N}$  قرار دارند. تندی انتشار موج در هر یک از این دو تار چقدر است؟

**انتقال انرژی در موج عرضی:** موج‌های پیش‌رونده، حامل انرژی هستند. وقتی در یک ریسمان یا فنر کشیده موجی عرضی را ایجاد می‌کنیم، در واقع، انرژی را برای ایجاد موج در ریسمان فراهم کرده‌ایم. با انتشار موج، این انرژی به‌صورت انرژی جنبشی و پتانسیل در ریسمان انتقال می‌یابد. انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل لازم برای حرکت و کشیدگی هر جزء ریسمان یا فنر را شخصی تأمین می‌کند که سر ریسمان یا فنر را دائماً به نوسان درمی‌آورد. ثابت می‌شود مقدار متوسط آهنگ انتقال انرژی (توان متوسط) در یک موج سینوسی برای همه انواع امواج مکانیکی با مربع دامنه  $(A^2)$  و نیز مربع بسامد  $(f^2)$  موج متناسب است  $(P_{av} \propto A^2 f^2)$ .

**امواج الکترومغناطیسی:** در کتاب فیزیک ۲ آموختیم که بار الکتریکی، میدان الکتریکی ایجاد می‌کند و جریان الکتریکی، میدان مغناطیسی تولید می‌کند. اگر بارهای الکتریکی ساکن باشند، میدان الکتریکی حاصل از آنها با زمان تغییر نمی‌کند. به همین ترتیب اگر جریان الکتریکی ثابت باشند، میدان مغناطیسی حاصل از آن ثابت و بدون تغییر می‌شود. امواج الکترومغناطیسی از رابطه متقابل میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به‌وجود می‌آیند. یعنی هر تغییری در میدان الکتریکی در هر نقطه از فضا، میدان مغناطیسی متغیری ایجاد می‌کند و این میدان مغناطیسی متغیر، خود میدان الکتریکی

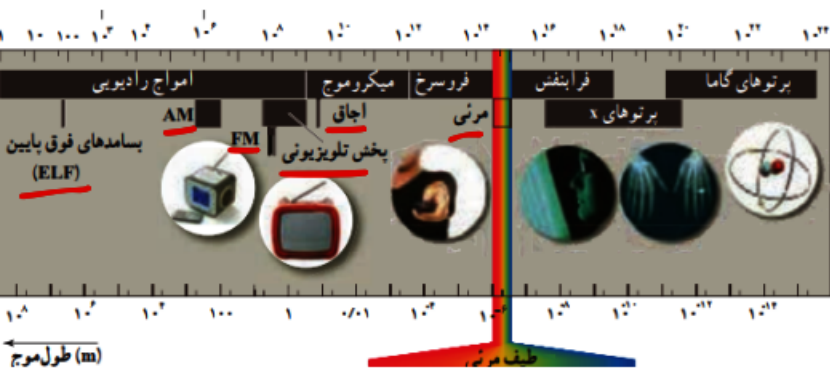


جیمز کلارک ماکسول (۱۸۷۹-۱۸۳۱ م.)

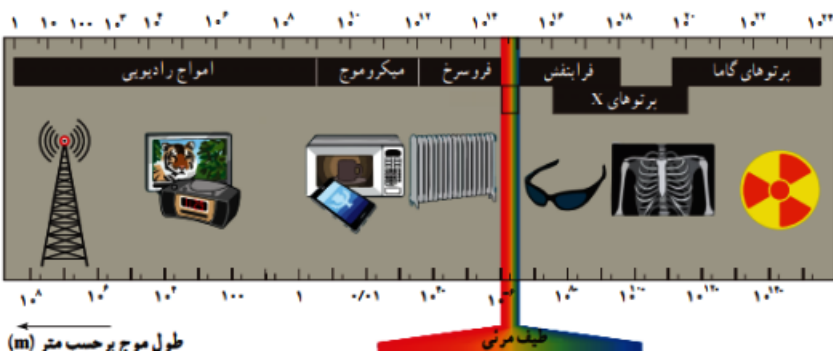
در شهر ادینبورگ اسکاتلند زاده شد. جیمز در دوران دانش‌آموزی بسیار کنجکار بود و به ساختن اسباب‌ها و دستگاه‌های فنی خیلی علاقه داشت و پدرش هم او را به این کار تشویق می‌کرد. وی در دانشگاه‌های ادینبورگ و کمبریج تحصیل نمود. ماکسول

همان‌طور که پیش‌تر گفتیم امواج مکانیکی برای انتشار به محیط مادی نیاز دارند. اما انتشار امواج الکترومغناطیسی به محیط مادی نیاز ندارد و این امواج، انرژی را نه به‌صورت انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل ذرات محیط، بلکه به‌صورت انرژی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی منتقل می‌کنند. مثلاً کل انرژی دریافتی از خورشید که باعث بقای زندگی روی کره زمین می‌شود از نوع امواج الکترومغناطیسی است. با اینکه خورشید در فاصله ۱۵۰ میلیون کیلومتری از زمین قرار دارد، توان امواج الکترومغناطیسی گسیل شده از خورشید که به سطح زمین می‌رسد، تقریباً ۱۰۰ میلیون گیگاوات است. جالب است که بدانید مرتبه بزرگی توان تولیدی یک نیروگاه هسته‌ای، ۱ گیگاوات است.

**طیف امواج الکترومغناطیسی:** امروزه طیف وسیعی از امواج الکترومغناطیسی را می‌شناسیم. این طیف شامل امواج رادیویی، میکروموج، فروسرخ، طیف نور مرئی، فرابنفش، پرتوهای X و پرتوهای گاما است، که از کمترین بسامد تا بیشترین بسامد گسترده شده‌اند (شکل ۳-۲۲). تمام این امواج به‌رغم تفاوت فراوان در روش‌های تولید و کاربردهای آنها، امواجی الکترومغناطیسی هستند و همگی با تندی نور در خلأ حرکت می‌کنند و هیچ گسستگی‌ای در این طیف وجود ندارد.



همان طور که پیش تر گفتیم امواج مکانیکی برای انتشار به محیط مادی نیاز دارند. اما انتشار امواج الکترومغناطیسی به محیط مادی نیاز ندارد و این امواج، انرژی را نه به صورت انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل ذرات محیط، بلکه به صورت انرژی میدان های الکتریکی و مغناطیسی منتقل می کنند. مثلاً کل انرژی دریافتی از خورشید که باعث بقای زندگی روی کره زمین می شود از نوع امواج الکترومغناطیسی است. با اینکه خورشید در فاصله ۱۵۰ میلیون کیلومتری از زمین قرار دارد، توان امواج الکترومغناطیسی گسیل شده از خورشید که به سطح زمین می رسد، تقریباً ۱۰۰ میلیون گیگاوات (از مرتبه  $10^{17}$  وات) است. جالب است که بدانید مرتبه بزرگی توان تولیدی یک نیروگاه هسته ای، ۱ گیگاوات است.



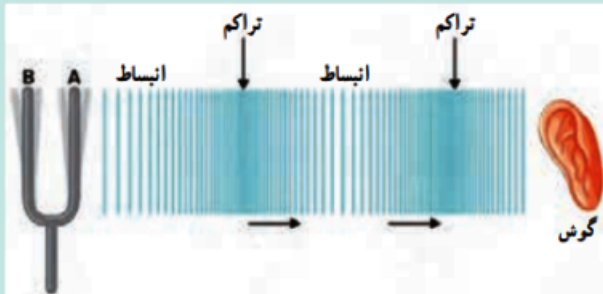


الف) چگونه ایجاد صوت توسط دیافازون را توضیح دهید.

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

الف) چگونه ایجاد صوت توسط دیافازون را توضیح دهید.

ب) به نظر شما چه سازوکاری موجب صدای وزوزِ حشرات هنگام پرواز می‌شود؟



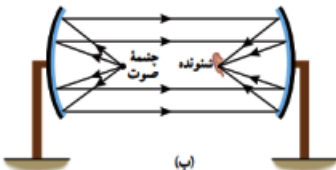


با اسباب نشان داده شده در شکل روبه‌رو، می‌توان زاویه تابش و زاویه بازتابش را در امواج صوتی اندازه‌گیری کرد. با استفاده از این اسباب، قانون بازتاب عمومی را برای امواج صوتی تحقیق کنید.



نمایشی از اسباب آزمایش بازتاب صوت

امواج صوتی می‌توانند مانند سایر امواج از سطوح خمیده نیز بازتابیده شوند. شاید در پارک‌های تفریحی دو سطح کاو را در برابر هم دیده باشید که وقتی شخصی در کانون یکی از این سطوح صحبت می‌کند، شخص دیگری در کانون سطح کاو دیگر آن را می‌شنود (شکل ۳-۳۵).



(ب)



(الف)

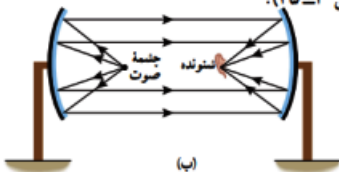
**شکل ۳۵-۳** دو سطح بازتابنده کار در یک پارک تفریحی و (ب) طرحی از بازتاب امواج صوتی از دو سطح کار مقابل هم با استفاده از نمودار پرتویی



نمایش از وسایل آزمایش بازتاب صوت

با وسایل ساده نشان داده شده در شکل روبه‌رو، می‌توان زاویه تابش و زاویه بازتابش را در امواج صوتی اندازه‌گیری کرد. با استفاده از این وسایل، قانون بازتاب عمومی را برای امواج صوتی نشان دهید.

امواج صوتی می‌توانند مانند سایر امواج از سطوح خمیده نیز بازتابیده شوند. شاید در برخی از پارک‌های تفریحی، دو سطح کاو را در برابر هم دیده باشید که وقتی شخصی در کانون یکی از این سطوح صحبت می‌کند، شخص دیگری در کانون سطح کاو دیگر آن را می‌شنود (شکل ۳-۳۵).

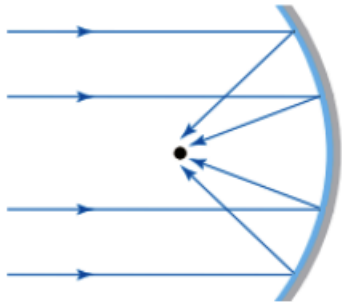


(ب)



(الف)

شکل ۳-۳۵ الف) دو سطح بازتابنده کاو در یک پارک تفریحی و ب) طرحی از بازتاب امواج صوتی از دو سطح کاو مقابل هم با استفاده از نمودار پرتویی



(الف)



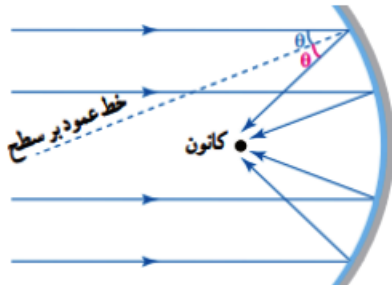
(ب)

شکل ۳-۳۶ الف) یک موج الکترومغناطیسی تخت پس از بازتاب از یک سطح کاو در نقطه‌ای مقابل  
 سطح، کانونی می‌شود. ب) تصویری از یک اجاق خورشیدی

۷



(ب)



(الف)

شکل ۳-۱۳ الف) یک موج الکترومغناطیسی تخت پس از بازتاب از یک سطح کاو در نقطه‌ای مقابل سطح، کانونی می‌شود. ب) تصویری از یک اجاق خورشیدی

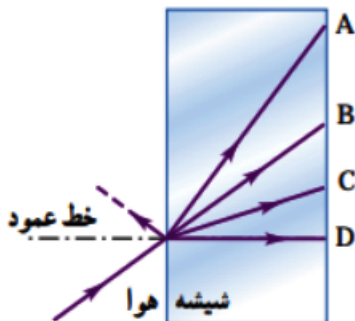
نوع دیگر بازتابش، **بازتاب پخشنده**<sup>۲</sup> یا **نامنظم** است. این بازتاب وقتی رخ می‌دهد که نور به سطحی برخورد کند که صیقلی و هموار نباشد. پرتوهای نور به‌طور کاتوره‌ای از پستی و بلندی‌های سطح بازتابیده، و در تمام جهات پراکنده می‌شوند (شکل ۳-۳۸). به دلیل این بازتاب است که شما این صفحه کاغذ، دیوار، دستتان، دوست خود، و... را می‌بینید. در بازتاب آینه‌ای از یک آینه تخت، بازتابش یک دسته پرتوی موازی را فقط در یک جهت می‌توانید ببینید، ولی در بازتاب پخشنده، بازتابش این دسته پرتو را می‌توانید در جهات‌های مختلف مشاهده کنید. توجه کنید منظور از سطح ناهموار آن است که سطح در مقایسه با طول موج نور ناهموار است؛ مثلاً یک کاغذ در ظاهر بسیار هموار به نظر می‌رسد اما از دید میکروسکوپی این سطح از اجزای متمایز و کوچکی تشکیل شده است که بسیار بزرگ‌تر از  $1\mu\text{m}$  هستند. با توجه به اینکه طول موج نور مرئی در حدود  $0.5\mu\text{m}$  است، چنین سطحی برای نور مرئی، ناهموار محسوب می‌شود. در مقابل، ناهمواری‌های یک آینه یا یک سطح فلزی صیقلی، بسیار کوچک‌تر از  $1\mu\text{m}$  است و بنابراین برای نور مرئی سطوحی هموار محسوب می‌شوند.

نوع دیگر بازتابش، **بازتاب پخشنده**<sup>۲</sup> یا **نامنظم** است. این بازتاب وقتی رخ می‌دهد که نور به سطحی برخورد کند که صیقلی و هموار نباشد. پرتوهای نور به‌طور کاتوره‌ای از پستی و بلندی‌های سطح بازتابیده و در تمام جهات پراکنده می‌شوند (شکل ۳-۳۸). به دلیل این بازتاب است که شما این صفحه کاغذ، دیوار، دستتان، دوست خود، و... را می‌بینید. در بازتاب آینه‌ای از یک آینه تخت، بازتابش یک دسته پرتوی موازی را فقط در یک جهت می‌توانید ببینید، ولی در بازتاب پخشنده، بازتابش این دسته پرتو را می‌توانید در جهات‌های مختلف مشاهده کنید. توجه کنید منظور از سطح ناهموار آن است که ابعاد ناهمواری‌های سطح در حدود طول موج نور یا بیشتر باشد؛ مثلاً یک کاغذ در ظاهر بسیار هموار به نظر می‌رسد اما از دید میکروسکوپی این سطح از اجزای متمایز و کوچکی تشکیل شده است که بسیار بزرگ‌تر از  $1\mu\text{m}$  هستند. با توجه به اینکه طول موج نور مرئی در حدود  $0.5\mu\text{m}$  است، چنین سطحی برای نور مرئی، ناهموار محسوب می‌شود. در مقابل، ناهمواری‌های یک آینه یا یک سطح فلزی صیقلی، بسیار کوچک‌تر از  $1\mu\text{m}$  است و بنابراین برای نور مرئی سطوحی هموار محسوب می‌شوند.

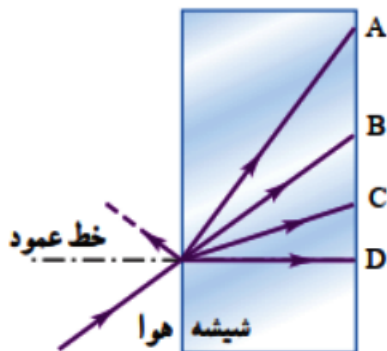
در حالت‌های دو یا سه بُعدی با عبور موج از یک مرز و ورود آن به محیط دیگر، تندی موج تغییر می‌کند و ممکن است جهت انتشار موج نیز تغییر کند و اصطلاحاً موج شکست پیدا کند. همان‌طور که پیش از این دیدیم، تندی امواج روی سطح آب به عمق آن بستگی دارد. از این ویژگی می‌توانیم برای تحقیق پدیده شکست در تشت موج استفاده کنیم؛ یعنی با تغییر دادن عمق آب در بخشی از تشت می‌توان تندی موج سطحی در آن بخش را تغییر داد که این همان‌طور که دیدیم به تغییر جهت انتشار موج در آن بخش، و به عبارتی به شکست موج می‌انجامد. مشاهده می‌شود با ورود موج به بخش کم‌عمق، تندی موج سطحی کاهش می‌یابد. روشن است، آن بخش از جبهه موج که زودتر به ناحیه کم‌عمق می‌رسد، چون با تندی کمتر حرکت می‌کند از بقیه جبهه موج که هنوز وارد این ناحیه نشده عقب می‌افتد و بنابراین فاصله بین جبهه‌های موج و در نتیجه طول موج کاهش می‌یابد و به این ترتیب جبهه‌های موج مطابق شکل ۳-۴۱ در مرز دو ناحیه تغییر جهت می‌دهند. این مطلب را می‌توان در نزدیک شدن امواج به یک ساحل شیب‌دار نیز مشاهده کرد که با رسیدن جبهه‌های موج به ساحل که در آنجا عمق آب کم می‌شود، جهت انتشار جبهه‌های موج تغییر می‌کند. شاید برای تفهیم این موضوع، مثال یک اسباب‌بازی چرخ‌دار که با عبور از کف صاف اتاق وارد قالیچه‌ای می‌شود، مناسب باشد. با ورود این اسباب‌بازی به قالیچه، تندی آن کم می‌شود و در نتیجه مسیر آن تغییر می‌کند (شکل ۳-۴۲).

در حالت‌های دو یا سه بُعدی با عبور موج از یک مرز و ورود آن به محیط دیگر، تندی موج تغییر می‌کند و ممکن است جهت انتشار موج نیز تغییر کند و اصطلاحاً موج شکست پیدا کند. همان‌طور که پیش از این دیدیم، تندی امواج روی سطح آب‌های کم‌عمق، به عمق آب بستگی دارد. از این ویژگی می‌توانیم برای تحقیق پدیده شکست در تشت موج استفاده کنیم؛ یعنی با تغییر دادن عمق آب در بخشی از تشت می‌توان تندی موج سطحی در آن بخش را تغییر داد که این همان‌طور که دیدیم به تغییر جهت انتشار موج در آن بخش، و به عبارتی به شکست موج می‌انجامد. مشاهده می‌شود با ورود موج به بخش کم‌عمق، تندی موج سطحی کاهش می‌یابد. روشن است، آن بخش از جبهه موج که زودتر به ناحیه کم‌عمق می‌رسد، چون با تندی کمتر حرکت می‌کند از بقیه جبهه موج که هنوز وارد این ناحیه نشده عقب می‌افتد و بنابراین فاصله بین جبهه‌های موج و در نتیجه طول موج کاهش می‌یابد و به این ترتیب جبهه‌های موج مطابق شکل ۳-۴۱ در مرز دو ناحیه تغییر جهت می‌دهند. این مطلب را می‌توان در نزدیک شدن امواج به یک ساحل شیب‌دار نیز مشاهده کرد که با رسیدن جبهه‌های موج به ساحل که در آنجا عمق آب کم می‌شود، جهت انتشار جبهه‌های موج تغییر می‌کند. شاید برای تفهیم این موضوع، مثال یک اسباب‌بازی چرخ‌دار که با عبور از کف صاف اتاق وارد قالیچه‌ای می‌شود، مناسب باشد. با ورود این اسباب‌بازی به قالیچه، تندی آن کم می‌شود و در نتیجه مسیر آن تغییر می‌کند (شکل ۳-۴۲).

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



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



## ۱-۴ اثر فوتوالکتریک و فوتون

اگر بر کلاهک برق‌نمایی با بار منفی، نور فرابنفشی تابیده شود، مشاهده می‌شود که انحراف ورقه‌های آن کاهش می‌یابد (شکل ۱-۴ الف) در حالی که با تابش نور مرئی، تغییری در انحراف ورقه‌های برق‌نما رخ نمی‌دهد (شکل ۱-۴ ب). چرا این پدیده اتفاق می‌افتد؟ آزمایش نشان می‌دهد وقتی با بسامد



شکل ۱-۴ الف) برهم‌کنش نور فرودی فرابنفش با کلاهک برق‌نما سبب می‌شود تا ورقه‌های آن به سرعت به هم نزدیک شوند. ب) در حالی که برهم‌کنش نور مرئی گسیل‌شده از یک لامپ رشته‌ای تغییری در انحراف ورقه‌های برق‌نما به وجود نمی‌آورد.

## ۱-۴ اثر فوتوالکتریک و فوتون

اگر بر کلاهک برق‌نمایی با بار منفی، نور فرابنفشی تابیده شود، مشاهده می‌شود که انحراف ورقه‌های آن کاهش می‌یابد (شکل ۱-۴ الف) در حالی که با تابش نور مرئی، تغییری در انحراف ورقه‌های برق‌نما رخ نمی‌دهد (شکل ۱-۴ ب). چرا این پدیده اتفاق می‌افتد؟ آزمایش نشان می‌دهد وقتی نوری با بسامد



**شکل ۱-۴ الف)** برهم‌کنش نور فرودی فرابنفش با کلاهک برق‌نما سبب می‌شود تا ورقه‌های آن به سرعت به هم نزدیک شوند. **ب)** در حالی که برهم‌کنش نور مرئی گسیل‌شده از یک لامپ رشته‌ای تغییری در انحراف ورقه‌های برق‌نما به وجود نمی‌آورد.



### ژاکوب بالمر (۱۸۹۸-۱۸۲۵ م.)

ریاضی‌دان و فیزیک‌دان سوئسی، در سال ۱۸۲۹ دورهٔ دکتری خود را در حوزهٔ ریاضیات در دانشگاه بازل به پایان رسانید. وی پس از پایان تحصیلات، در یک مدرسهٔ دخترانه و همچنین دانشگاه بازل مشغول به تدریس شد. مشهورترین کار بالمر در خصوص مطالعهٔ طیف اتمی گازها بود، به‌طوری که وی در سال ۱۸۸۵ و در سن ۶۰ سالگی موفق شد رابطه‌ای تجربی برای طیف گسلی خطی اتم‌های هیدروژن ارائه دهد. این رابطه امروزه به نام وی معروف است. بالمر برای ارائه این رابطه از داده‌های آنگستروم، فیزیک‌دان سوئدی، در خصوص اندازه‌گیری طول‌موج‌های طیف خطی هیدروژن اتمی در ناحیهٔ مرئی بهره گرفت.

به فرد ،

آشنا از

قسمت

این گار



حذف

برای:

از یک

دو الکا

منفی ؛

اتم های

و همچ

مختلف

طیف ،

۴-۶ :

پیشنها

را به ده



طول موج‌های اولین و دومین خط‌های طیفی اتم هیدروژن در رشتهٔ براکت ( $n' = 4$ ) را به دست آورید و تعیین کنید که این خط‌ها در کدام گسترهٔ طول موج‌های الکترومغناطیسی واقع‌اند.

**پاسخ:** در رشتهٔ براکت ( $n' = 4$ ) و برای اولین و دومین خط طیفی به ترتیب  $n = 5$  و  $n = 6$  است. در این صورت با استفاده از رابطهٔ ۲-۴ داریم:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{4^2} - \frac{1}{5^2} \right) = R(2/25 \times 10^{-2}) \Rightarrow \lambda = \underline{4.77 \text{ nm}}$$

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{4^2} - \frac{1}{6^2} \right) = R(3/472 \times 10^{-2}) \Rightarrow \lambda = 2642 \text{ nm}$$

با مراجعه به طیف موج‌های الکترومغناطیسی در فصل ۳، مشاهده می‌کنیم که این خط‌های طیفی در ناحیهٔ فروسرخ قرار دارند.



طول موج‌های اولین و دومین خط‌های طیفی اتم هیدروژن در رشتهٔ براکت ( $n' = 4$ ) را به دست آورید و تعیین کنید که این خط‌ها در کدام گسترهٔ طول موج‌های الکترومغناطیسی واقع‌اند.

**پاسخ:** در رشتهٔ براکت ( $n' = 4$ ) و برای اولین و دومین خط طیفی به ترتیب  $n = 5$  و  $n = 6$  است. در این صورت با استفاده از رابطهٔ ۴-۳ داریم:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{4^2} - \frac{1}{5^2} \right) = R (2 / 25 \times 10^{-2}) \Rightarrow \lambda = \underline{4050 \text{ nm}}$$

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{4^2} - \frac{1}{6^2} \right) = R (3 / 472 \times 10^{-2}) \Rightarrow \lambda = 2624 \text{ nm}$$

با مراجعه به طیف موج‌های الکترومغناطیسی در فصل ۳، مشاهده می‌کنیم که این خط‌های طیفی در ناحیهٔ فروسرخ قرار دارند.

استخراج معادله ریدبرگ برای اتم هیدروژن از مدل بور : همان‌طور که در ابتدای این بخش نیز اشاره کردیم یکی از موفقیت‌های مدل بور نتیجه‌گیری معادله ریدبرگ برای طیف خطی گاز هیدروژن اتمی است. برای بررسی بیشتر این موضوع فرض کنید الکترون اتم هیدروژن در یکی از حالت‌های برانگیخته باشد و بخواهد به حالتی با انرژی کمتر جهش کند. به عبارت دیگر الکترون از مدار مانای  $n_U$  به مدار مانای  $n_L$  می‌رود و فوتونی را گسیل می‌کند. با توجه به روابط ۴-۵ و ۴-۶، بسامد فوتون گسیل‌شده برابر است با :

$$f = \frac{1}{h}(E_U - E_L) = \frac{E_R}{h} \left( \frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2} \right)$$

به دست آوردن معادله ریدبرگ از مدل بور : همان طور که در ابتدای این بخش نیز اشاره کردیم یکی از موفقیت های مدل بور نتیجه گیری معادله ریدبرگ برای طیف خطی گاز هیدروژن اتمی است. برای بررسی بیشتر این موضوع فرض کنید الکترون اتم هیدروژن در یکی از حالت های برانگیخته باشد و بخواهد به حالتی با انرژی کمتر جهش کند. به عبارت دیگر الکترون از مدار مانای  $n_U$  به مدار مانای  $n_L$  می رود و فوتونی را گسیل می کند. با توجه به روابط ۴-۵ و ۴-۶، بسامد فوتون گسیل شده برابر است با :

$$f = \frac{1}{h}(E_U - E_L) = \frac{E_R}{h} \left( \frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2} \right)$$



هانری بکرل (۱۸۵۲-۱۹۰۸ م.)

فیزیک‌دان فرانسوی در سال ۱۸۹۲ به‌عنوان استاد موزه ملی تاریخ طبیعی پاریس انتخاب شد. وی نخستین دانشمندی است که - در سال ۱۸۹۶ و در حالی که مشغول بررسی خاصیت فوسفانس نمک‌های اورانیم بود - پدیده پرتوزایی را کشف کرد. بکرل در سال ۱۹۰۳، به همراه ماری کوری و پیر کوری جایزه نوبل فیزیک را به‌خاطر کشف پرتوزایی طبیعی دریافت کرد. به افتخار فعالیت‌های وی در زمینه پرتوزایی، یکای SI برای فعالیت پرتوزایی، بکرل (Bq) نام‌گذاری شده است.

تا  
اتم -  
هست  
جرم

)

پ

م

همچ  
برای

تعد

اتم خ

هسته.

جرمی

۴)

حذف

برا

مش

همچن

برای ۱

۱





**چی زن - شی ژونگ وو (۱۹۱۷-۱۹۹۲ م.)**

را از زمره برجسته‌ترین فیزیک‌دان‌های قرن بیستم می‌دانند که در ۱۹۱۲ در شهری در حوالی شانگهای چین به دنیا آمد. آزمایش‌های پیشگامانه‌ای که در مورد واپاشی بتا و برهم‌کنش‌های هسته‌ای انجام داد، زمینه لازم را برای توسعه مدل‌های جدید فیزیک زیراتمی فراهم کرد. وی نظریه واپاشی بتا را که توسط فرمی ارائه شده بود به‌طور تجربی به تأیید رساند. چی زن - شی ژونگ اولین زنی بود که در سال ۱۹۷۵ میلادی به سمت رئیس انجمن فیزیک آمریکا برگزیده شد. زندگی فوق‌العاده او را با شعری قدیمی به زبان چینی توصیف می‌کنند: «اگرچه راهی طولانی و پر فراز و نشیب در پیش دارم، قاطعانه می‌خواهم تا انتهای آن را ببیمایم.»



واکنش  
را

در  
ولی به  
نمایش



ولم  
نما  
در  
می

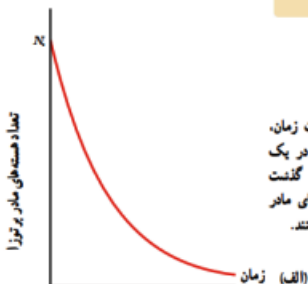
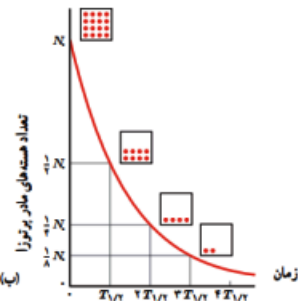


**نیمه عمر:** ایزوتوپ‌های پرتوزا با گذشت زمان واپاشیده می‌شوند. برای یک نمونه از یک ماده پرتوزا، بر اساس داده‌های تجربی می‌توان بیان کرد که در پایان زمانی معینی، چه کسری از ماده پرتوزا و امی باشد. برای مثال در مورد هسته‌های توریم  $^{232}\text{Th}$  پس از زمان معینی می‌توان گفت که چه کسری از آنها به رادیم  $^{228}\text{Ra}$  تبدیل شده است.

برای بررسی بیشتر این موضوع، یک نمونه پرتوزا را در نظر بگیرد. فرض کنید در لحظه  $t=0$  تعداد هسته‌های مادر پرتوزای موجود در این نمونه، برابر  $N_0$  باشد. اگر نمودار تغییرات تعداد هسته‌های مادر موجود در نمونه را برحسب زمان رسم کنیم نمودار شکل ۴-۲۸ الف به دست می‌آید. همان‌طور که روی نمودار نیز دیده می‌شود، پس از گذشت زمان کافی، تعداد هسته‌های مادر موجود در نمونه، به صفر میل می‌کند. برای درک بهتر این نمودار، کمیتی به نام نیمه‌عمر را معرفی می‌کنیم و آن را با نماد  $T_{1/2}$  نشان می‌دهیم. بنا به تعریف، نیمه‌عمر، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا تعداد هسته‌های مادر موجود در یک نمونه، به نصف برسند (شکل ۴-۲۸ ب). برخی از ایزوتوپ‌ها مانند اورانیم  $^{238}\text{U}$ ، دارای نیمه‌عمری در حدود سن زمین ( $4/5$  میلیارد سال) هستند. این عناصر منشأ پرتوزایی طبیعی در محیط پیرامون ما هستند.



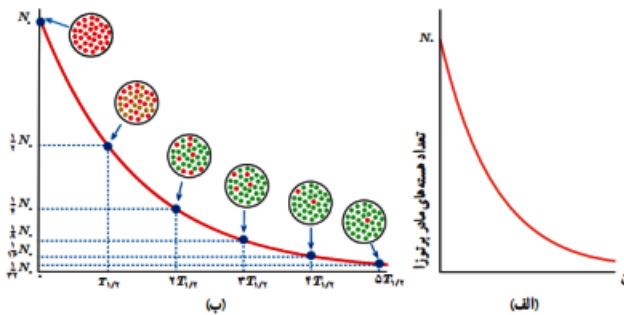
**روزالیند پاولی (۱۹۱۲-۱۹۸۲ م.)** فیزیک‌دان آمریکایی، پس از دریافت دکترای فیزیک هسته‌ای، در زمینه کاربرد ایزوتوپ‌های پرتوزا در پزشکی تحقیق کرد. وی روش امپرسیونیستی تابشی را ابداع کرد، که در آن از ردیاب‌های پرتوزا برای اندازه‌گیری مقادیر کم مواد در خون با سایر نشاندها استفاده می‌شود. اهمیت این روش با اعطای جایزه نوبل پزشکی در سال ۱۹۷۷ به وی بیشتر مشخص شد.



**شکل ۴-۲۸ الف** با گذشت زمان، تعداد هسته‌های مادر پرتوزا در یک نمونه کاهش می‌یابد. (ب) با گذشت هر نیمه‌عمر، نیمی از هسته‌های مادر پرتوزای باقی‌مانده واپاشی می‌کنند.

**نیمه عمر:** ایزوتوپ‌های پرتوزا با گذشت زمان واپاشیده می‌شوند. برای یک نمونه از یک ماده پرتوزا، بر اساس داده‌های تجربی می‌توان بیان کرد که در پایان زمان معینی، چه کسری از ماده پرتوزا وافی باشد. برای مثال در مورد هسته‌های توریم  $^{232}\text{Th}$  پس از زمان معینی می‌توان گفت که چه کسری از آنها به رادیم  $^{228}\text{Ra}$  تبدیل شده است.

برای بررسی بیشتر این موضوع، یک نمونه پرتوزا را در نظر بگیرید. فرض کنید در لحظه  $t=0$  تعداد هسته‌های مادر پرتوزای موجود در این نمونه، برابر  $N_0$  باشد. اگر نمودار تغییرات تعداد هسته‌های مادر موجود در نمونه را برحسب زمان رسم کنیم نمودار شکل ۴-۲۸ الف به دست می‌آید. همان‌طور که روی نمودار نیز دیده می‌شود، پس از گذشت زمان کافی، تعداد هسته‌های مادر موجود در نمونه، به صفر میل می‌کند. برای درک بهتر این نمودار، کمیتی به نام نیمه‌عمر را معرفی می‌کنیم و آن را با نماد  $T_{1/2}$  نشان می‌دهیم. بنا به تعریف، نیمه‌عمر، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا تعداد هسته‌های مادر موجود در یک نمونه، به نصف برسند (شکل ۴-۲۸ ب). برخی از ایزوتوپ‌ها مانند اورانیم  $^{238}\text{U}$ ، دارای نیمه‌عمری در حدود سن زمین ( $4.5$  میلیارد سال) هستند. این عناصر منشأ پرتوزایی طبیعی در محیط پیرامون ما هستند.



شکل ۴-۲۸ الف) با گذشت زمان، تعداد هسته‌های مادر پرتوزا در یک نمونه کاهش می‌یابد. ب) با گذشت نیمه‌عمر، نیمی از هسته‌های مادر پرتوزای باقی‌مانده (دایره‌های قرمز) پاشی می‌کنند.

اگر تعداد هسته‌های مادر اولیه در یک نمونه پرتوزا  $N_0$  باشد، پس از گذشت زمان  $t$ ، تعداد هسته‌های پرتوزای باقی مانده از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \quad (4-12) \quad \text{(تعداد هسته‌های پرتوزای باقی مانده)}$$

که در آن  $n$  از رابطه  $\frac{t}{T_{1/2}}$  به دست می‌آید.

اگر تعداد هسته‌های مادر اولیه در یک نمونه پرتوزا  $N_0$  باشد، پس از گذشت زمان  $t$ ، تعداد هسته‌های پرتوزای باقی مانده از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \quad (12-4) \quad (\text{تعداد هسته‌های پرتوزای باقی مانده})$$

که در آن  $n$  از رابطه  $\frac{t}{T_{1/2}}$  به دست می‌آید.