

آزمون (۳) نوبت اول

۱/۵

یک وزنه به جرم ۴ کیلوگرم را به فنری که از سقف آویزان است متصل کرده و اجازه می‌دهیم به آرامی پایین بیاید. فنر ۱۰ سانتی‌متر کشیده می‌شود. سپس این فنر را به جسمی به جرم  $m$  متصل می‌نماییم و بر روی میزی بدون اصطکاک به نوسان در می‌آوریم. اگر دوره تناوب این نوسان  $\frac{2}{3}$  ثانیه باشد. جرم جسم  $m$  را محاسبه کنید. ( $\pi = 3$ )

۹

۱

دوره تناوب یک نوسانگر هماهنگ ساده به جرم  $500\text{g}$ ، برابر  $\frac{1}{8}$  است. اگر انرژی مکانیکی این نوسانگر  $9\text{J}$  باشد، معادله حرکت این نوسانگر ساده را بنویسید. ( $\pi = 3$ )

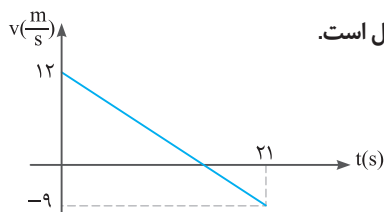
۱۰

۱

سرعت انتشار امواج عرضی در یک سیم به چگالی  $\frac{7}{8}\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  و سطح مقطع  $2\text{mm}^2$ ،  $100\frac{\text{m}}{\text{s}}$  است. نیروی کشش سیم را محاسبه نمایید.

۱۱

۱



نمودار سرعت زمان متحرکی که بر روی خط راست در حال حرکت است، مطابق شکل مقابل است. سرعت متوسط متحرک در بازه زمانی  $t_1 = 6\text{s}$  تا  $t_2 = 12\text{s}$  را به دست آورید.

۱۲

جعبه‌ای به جرم  $10\text{kg}$  را روی یک سطح افقی به ضریب اصطکاک ایستایی  $\frac{1}{4}$  با نیروی افقی  $25\text{N}$  می‌کشیم:

$$(g = 10\frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

الف) آیا جعبه حرکت می‌کند؟ چرا؟

ب) در این حالت نیروی اصطکاک بین جعبه با سطح چقدر است؟

۱/۵

۱/۵

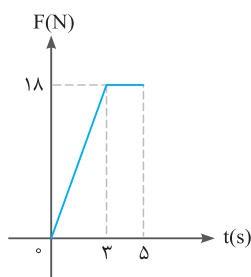
۱۳

۱

طول و جرم یک آونگ ساده را دو برابر می‌کنیم. با نوشتن رابطه معین کنید دوره آونگ چند برابر می‌شود؟

۱۴

۲



شکل مقابل نمودار نیروی وارد بر یک جسم به جرم  $6\text{kg}$  را بر حسب زمان نشان می‌دهد که از حال سکون روی خط راست به حرکت درآمده است. در  $t = 5\text{s}$  سرعت جسم چند متر بر ثانیه است؟

۱۵

۱/۵

اتومبیلی  $\frac{1}{3}$  از زمان حرکت خود را با سرعت  $15\frac{\text{m}}{\text{s}}$  و  $\frac{1}{6}$  از مدت زمان حرکت خود را با سرعت  $18\frac{\text{m}}{\text{s}}$  و باقی زمان حرکت را با سرعت  $30\frac{\text{m}}{\text{s}}$  حرکت کرده است. سرعت متوسط این اتومبیل را در کل حرکت محاسبه کنید.

۱۶

۱

درستی یا نادرستی جمله‌های زیر را با علامت (د) یا (ن) مشخص کنید.

الف) لختی، به خاصیتی در اجسام می‌گویند که می‌خواهند وضعیت حرکت خود را تغییر دهند.

ب) تغییر تکانه ناشی از نیروی متوسط برابر با تغییر تکانه نیروی واقعی متغیر با زمان است.

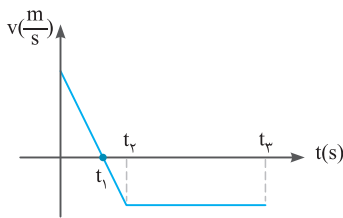
پ) نیروی مقاومت یک شاره مانند هوا، به تندی حرکت جسم بستگی دارد.

ت) مربع دوره گردش ماهواره‌ها به دور زمین، متناسب با مکعب فاصله آن‌ها از مرکز زمین است.

۱۷

## آزمون (۴) نوبت اول

۱/۵



نوع حرکت را در بازه‌های زمانی داده شده با ذکر دلیل مشخص کنید.

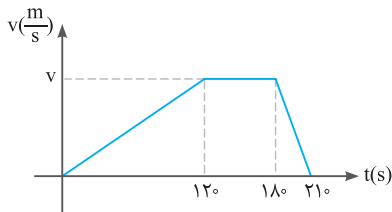
 الف)  $t = 0$  تا  $t = t_1$ 

 ب)  $t = t_1$  تا  $t = t_2$ 

 پ)  $t = t_2$  تا  $t = t_3$ 

۱

۱/۵



نمودار سرعت زمان متحرکی که روی خط راست حرکت می‌کند، مطابق

 شکل مقابل است. اگر کل جابه‌جایی انجام شده  $1890$  متر باشد،

مطلوبست محاسبه:

الف) سرعت متوسط متحرک

ب) حداکثر سرعت متحرک

 پ) شتاب  $30$  ثانیه آخر متحرک

۲

۱

 متحرکی با سرعت ثابت بر روی مسیر مستقیم حرکت می‌کند. اگر در لحظه  $t_1 = 1s$  در مکان  $x_1 = 8m$  و در لحظه  $t_2 = 5s$  در مکان

 $x_2 = 16m$  باشد، مکان اولیه متحرک را به دست آورید.

۳

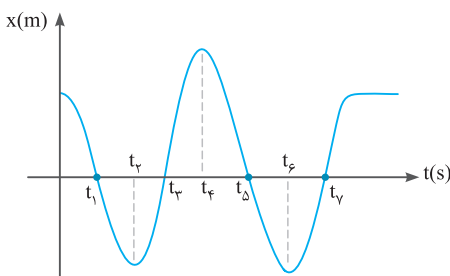
۱

 اتومبیلی  $\frac{1}{4}$  مسیر مستقیم خود را با سرعت ثابت  $72 \frac{km}{h}$  و باقی مسیر خود را با سرعت  $108 \frac{km}{h}$  می‌پیماید. سرعت متوسط اتومبیل

در کل مسیر حرکت را به دست آورید.

۴

۰/۷۵



نمودار مکان - زمان متحرکی مطابق شکل روبه‌رو است. این متحرک:

الف) چند مرتبه تغییر جهت داده است؟

ب) سرعت متحرک در کدام لحظات منفی است؟

۵

۰/۷۵

۱/۵

 جسمی در مبدأ زمان از حال سکون، با شتاب ثابت بر مسیر مستقیم شروع به حرکت می‌کند. اگر سرعت متحرک در مدت  $4$  ثانیه،  $24$  متر

بر ثانیه افزایش یابد، جابه‌جایی آن در ثانیه سوم حرکت چند متر است؟

۶

۰/۵

الف) تعریف موج عرضی را بنویسید.

۰/۵

ب) مقداری طناب و یک فنر در اختیار دارید. با کدام‌یک از این دو می‌توان هر دو موج طولی و عرضی را ایجاد نمود؟ چرا؟

۷

۰/۵

 معادله تکانه - زمان جسمی به جرم  $2kg$  در SI به صورت  $P(t) = 4t^2 + 10t + 6$  است. مطلوبست محاسبه:

۰/۵

الف) اندازه نیروی متوسط وارد بر جسم در ثانیه سوم حرکت

۰/۵

 ب) سرعت جسم در  $t = 1s$ 

۸

به سؤالات زیر پاسخ دهید.

۰/۵

الف) چرا امواج الکترومغناطیسی در خلأ هم منتشر می‌شوند؟

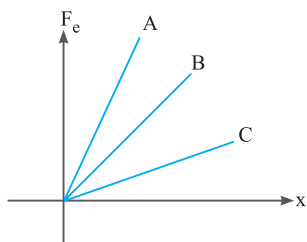
۰/۵

ب) طول موج امواج فرسرخ، مرئی و گاما را با یکدیگر مقایسه کنید.

۹

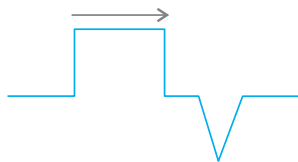
آزمون (۱۰) نوبت دوم

ریمانی به طول ۶cm و جرم ۶۰g توسط نیروی ۱۶N کشیده می‌شود، سرعت انتشار موج در آن چه قدر است؟

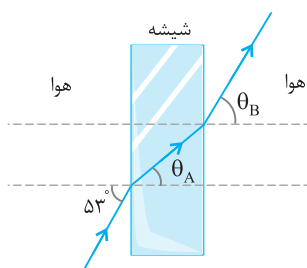


مطابق شکل نیروی وارد شده به جسم m برحسب فاصله از نقطه تعادل برای ۳ فنر A و B و C رسم شده است. ثابت‌های ۳ فنر را با یکدیگر مقایسه کنید.

موج صوتی با توان  $1/2 \times 10^{-4}$  وات عمود بر جهت انتشار از دو صفحه فرضی می‌گذرد. با فرض اینکه مساحت صفحه‌ها به ترتیب  $A_1 = 4m^2$  و  $A_2 = 12m^2$  باشد:  
الف) شدت صوت در دو سطح را تعیین کنید.  
ب) چرا شنونده در محل صفحه دوم، صدا را آهسته‌تر می‌شنود؟



با توجه به شکل موج داده‌شده، شکل بازتاب از انتهای ثابت طناب را رسم کنید.



پرتو نوری مطابق شکل، از هوا بر تیغه شیشه‌ای متوازی‌السطوحی، با زاویه تابش  $53^\circ$  فرود می‌آید. مطلوبست محاسبه:  
الف) زاویه شکست ( $\theta_A$ ) پرتو در شیشه  
ب) زاویه خروجی ( $\theta_B$ ) پرتو از شیشه  
( $n_{\text{شیشه}} = 1/6$ )

یک چشمه صوتی، موج‌هایی با توان متوسط ۴۸ وات را در فضا تولید می‌کند.

الف) شدت صوت در فاصله ۲ متری این چشمه را حساب کنید. ( $\pi = 3$ )  
ب) تراز شدت صوت در این فاصله را برحسب دسی - بل به دست آورید. ( $I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$ )

الف) در اتم هیدروژن هنگام انتقال الکترون از تراز ۳ به ۲، گسیل رخ می‌دهد یا جذب؟ چرا؟  
ب) طول موج مربوط به این انتقال را برحسب نانومتر به دست آورید. ( $R_H = 1.097 \times 10^7 m^{-1}$ )

شماره لایه مقصد الکترون و ناحیه طیف فوتون گسیلی را برای هر یک از طیف‌های زیر ذکر کنید.

- الف) پفوند
- ب) پاشن
- پ) براکت
- ت) لیمان

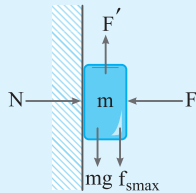
پاسخ نامه آزمون (۱)

فیزیک (۳)

الف)  $\begin{cases} F = N \\ f_{s \max} = mg \end{cases}$

$f_{s \max} = \mu_s \cdot N = \mu_s \cdot F = mg$

$\Rightarrow \mu_s = \frac{mg}{F} = \frac{0.5 \times 10}{20} = \frac{5}{20} = \frac{1}{4}$



ب)  $F' - (mg + f_{s \max}) = 0$

$\rightarrow F' = 0.5 \times 10 + \frac{1}{4} \times 20 = 5 + 5 = 10 \text{ N}$

۶

۷

$x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0 \xrightarrow{x=6t^2-5t-10} v_0 = -5 \frac{m}{s}$  (الف)

$v_{av} = \frac{x(2) - x(0)}{2-0} = \frac{4 - (-10)}{2} = \frac{14}{2} = 7 \text{ m/s}$  (ب)

$x(2) = (6 \times 4) - (5 \times 2) - 10 = 4 \text{ m}$

$x(0) = -10 \text{ m}$

۸

الف) عرضی  $\lambda + \frac{\lambda}{4} = \frac{5\lambda}{4}$  (ب)

B (ب)

۹

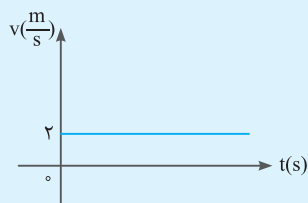
$x = vt + x_0 \rightarrow \begin{cases} 6 = 5v + x_0 \\ 36 = 20v + x_0 \\ 12 = -3x_0 \rightarrow x_0 = -4 \text{ m} \rightarrow v = 2 \frac{m}{s} \end{cases}$  (الف)

$x = 2t - 4$

$x(50) = 100 - 4 = 96 \text{ m}$  (ب)

(ب)

(ب)



۱۰

الف)  $v = 331 \sqrt{\frac{T}{273}} = 331 \sqrt{\frac{819 + 273}{273}}$

$= 331 \sqrt{\frac{4 \times 273}{273}} = 331 \sqrt{4} = 2 \times 331 = 662 \frac{m}{s}$

$= 331 \sqrt{\frac{4 \times 273}{273}} = 331 \sqrt{4} = 2 \times 331 = 662 \frac{m}{s}$

پ) عرضی

ث) یک

ب) کمتر

ت) ۹۰

۱۱

$W = mg = m \frac{GM_e}{r^2}$

ب)  $t_1$

ت) جهت

الف) کندشونده

پ)  $t_2$

ث) مثبت

۲

ب) در خلاف جهت

ت)  $\frac{1}{4}$

الف) صفر

پ) ۴

۳

$\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2 = 225 + 90 = 315 \text{ m}$

هنگامی که نیروی F بر جسم اثر می کند:  $\Delta x_1$

هنگامی که تنها نیروی اصطکاک بر جسم اثر می کند:  $\Delta x_2$

$\Delta x_1: F - f_k = ma \rightarrow F - \mu_k \times F_N = ma$

$\rightarrow 42 - 0.5 \times 6 \times 10 = 6a \rightarrow 12 = 6a \rightarrow a = 2 \frac{m}{s^2}$

$\Delta x_1 = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t = \frac{1}{2} \times 2 \times t^2 + 0 \times t = t^2$

$\Delta x_1 = \Delta x(15) = 225 \text{ m}$

$\Delta x_2: v(15) = 15 \times 2 + 0 = 30 \frac{m}{s}$

$-f_k = ma \rightarrow -0.5 \times 6 \times 10 = 6 \times a \rightarrow a = -5 \frac{m}{s^2}$  (در اثر اصطکاک)

$v^2 - v_0^2 = 2a \Delta x_2 \rightarrow 0 - 900 = 2 \times -5 \times \Delta x_2 \rightarrow \Delta x_2 = \frac{-900}{-10} = 90 \text{ m}$

۴

حالت اول:  $\sqrt{\frac{4}{m}} = \frac{2\pi}{T} \rightarrow \sqrt{\frac{4}{m}} = \frac{2\pi}{2} = \pi \rightarrow \sqrt{\frac{k}{m}} = \pi$

حالت دوم:  $\sqrt{\frac{k}{m'}} = \frac{2\pi}{T'} \rightarrow \sqrt{\frac{k}{m'}} = \frac{2\pi}{3} \rightarrow \frac{3}{2} \sqrt{\frac{k}{m'}} = \pi$

$\Rightarrow \frac{3}{2} \frac{\sqrt{k}}{\sqrt{m'}} = \frac{\sqrt{k}}{\sqrt{m}} \rightarrow \frac{9}{4} \frac{1}{m'} = \frac{1}{m} \xrightarrow{m'=m+2} 9m = 4m + 8$

$\rightarrow 5m = 8 \rightarrow m = 1.6 \text{ kg}$

۵

$x(t) = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0 \xrightarrow[\text{انتخاب مبدأ مکان اختیاری است.}]{x_0=0} x(t) = \frac{1}{2} \times 4 \times t^2 + 6t$

$\rightarrow x(t) = 2t^2 + 6t$

$x(6) = 2 \times 36 + 6 \times 6 = 72 + 36 = 108 \text{ m}$

$x(4) = 2 \times 16 + 6 \times 4 = 32 + 24 = 56 \text{ m}$

$\Delta x(4-6) = x(6) - x(4) = 108 - 56 = 52 \text{ m}$

جاهه جایی در ۲ ثانیه سوم

۸

$$F_{av} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{p(3) - p(2)}{3 - 2} = 3 \cdot N \quad (\text{الف})$$

$$P(3) = 36 + 3 \cdot 0 + 6 = 42$$

$$P(2) = 16 + 2 \cdot 0 + 6 = 22$$

$$P = mv \rightarrow v(1) = \frac{p(1)}{m} = \frac{4 + 1 \cdot 0 + 6}{2} = \frac{10}{2} = 5 \frac{m}{s} \quad (\text{ب})$$

۹

الف) زیرا برای انتشار به محیط مادی نیاز ندارند.

$$\lambda_{\text{گاما}} > \lambda_{\text{مرئی}} > \lambda_{\text{فروسرخ}} \quad (\text{ب})$$

$$(f_{\text{گاما}} < f_{\text{مرئی}} < f_{\text{فروسرخ}}), \lambda = \frac{c}{f}$$

۱۰

$$v = (x(t))' = -0.05 \times 2 \pi \sin(2 \pi t) \quad (\text{الف})$$

$$v = v_{\text{max}} \rightarrow \sin(2 \pi t) = 1 \rightarrow 2 \pi t = \frac{\pi}{2} \rightarrow t = \frac{1}{4} \text{ s}$$

$$v = 0 \rightarrow \sin(2 \pi t) = 0 \rightarrow 2 \pi t = \pi \rightarrow t = \frac{1}{2} \text{ s} \quad (\text{ب})$$

$$E = K + U \rightarrow U = K = \frac{E}{2} \rightarrow \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} k A^2 \quad (\text{پ})$$

انرژی جنبشی      انرژی مکانیکی

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \rightarrow \frac{1}{2} \frac{k}{\omega^2} \times v^2 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} k A^2$$

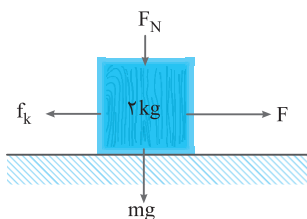
$$\rightarrow \frac{v^2}{\omega^2} = \frac{1}{2} A^2 \rightarrow v^2 = \frac{1}{2} \omega^2 A^2 = \frac{1}{2} \times 4 \cdot \pi^2 \times \frac{25}{10000}$$

$$\rightarrow v = \frac{\sqrt{2}}{2} \times 2 \cdot \pi \times \frac{5}{100} = \pi \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{m}{s}$$

۱۱

$$P = mv \rightarrow v = \frac{P(t)}{m} \rightarrow v(6) = \frac{P(6)}{4} \rightarrow v(6) = \frac{16}{6} = \frac{8}{3} \frac{m}{s}$$

۱۲



گام اول:  $F_y = 0 \rightarrow F_N - mg = 0 \rightarrow F_N = mg = 2 \times 10 = 20 \text{ N}$

گام دوم:  $f_k = \mu_k \cdot F_N = 0.3 \times 20 = 6 \text{ N}$

گام سوم:  $F_x = ma \rightarrow F - f_k = ma$

$$\rightarrow F - 6 = 2 \times 4 \rightarrow F = 8 + 6 = 14 \text{ N}$$

۱۳

با اعمال نیروی خارجی می‌توان یک نوسان‌گر واداشته داشت. در صورتی که بسامد حرکت واداشته با بسامد طبیعی نوسان‌گر یکسان باشد، دامنه نوسان تا مقدار بیشینه‌ای افزایش یافته و پس از آن حرکت نوسانی بدون کاهش دامنه ادامه می‌یابد که به این پدیده تشدید می‌گوییم.

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2}$$

$$v_1 = \frac{\Delta x_1}{\Delta t_1} \rightarrow 20 = \frac{\frac{1}{4} \Delta x}{\Delta t_1} \rightarrow \Delta t_1 = \frac{\frac{1}{4} \Delta x}{20} = \frac{1}{80} \Delta x$$

$$\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2 \rightarrow \Delta x = \frac{1}{4} \Delta x + \Delta x_2 \rightarrow \Delta x_2 = \frac{3}{4} \Delta x$$

$$v_2 = \frac{\Delta x_2}{\Delta t_2} \rightarrow 30 = \frac{\frac{3}{4} \Delta x}{\Delta t_2} \rightarrow \Delta t_2 = \frac{\frac{3}{4} \Delta x}{30} = \frac{3 \Delta x}{120} = \frac{\Delta x}{40}$$

$$\bar{v} = \frac{\frac{1}{4} \Delta x + \frac{3}{4} \Delta x}{\frac{1}{80} \Delta x + \frac{1}{40} \Delta x} = \frac{\Delta x}{\frac{1 \Delta x + 2 \Delta x}{80}} = \frac{\Delta x}{\frac{3 \Delta x}{80}} = \frac{80}{3} \frac{m}{s}$$

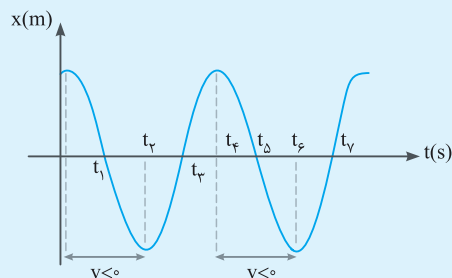
۵

الف) ۳ مرتبه (در لحظات  $t = t_1, t_2, t_3$ )

ب) سرعت متحرک و جابه‌جایی هم جهت می‌باشند.

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{1}{\Delta t} \Delta x$$

بنابراین در بازه‌های زمانی که جابه‌جایی متحرک منفی است، سرعت متحرک منفی می‌باشد. ( $t_4, t_5$ ) و ( $t_6, t_7$ )



۶

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{24}{4} = 6 \frac{m}{s^2}, v_0 = 0, x(t) = \frac{1}{2} a t^2 + v_0 t + x_0 = \frac{1}{2} \times 6 \times t^2 + 0 + 0$$

$$\Rightarrow x(t) = 3 t^2$$

$$x(3) = 3 \times 9 = 27 \text{ m}$$

$$x(2) = 3 \times 4 = 12 \text{ m}$$

$$\Delta x(2-3) = x(3) - x(2) = 27 - 12 = 15 \text{ m}$$

۷

الف) موج عرضی موجی است که در آن راستای انتشار بر راستای نوسان عمود باشد.

ب) فتر، برای ایجاد موجود طولی، بایستی راستای نوسان ذرات با راستای انتشار موج هم جهت باشد. این موضوع در فتر قابل ایجاد است (فتر را در راستای افق فشرده کنیم و سپس آن را رها سازیم، فشردگی فتر (نوسان ذرات) در راستای افقی و پیش‌روی فشردگی در طول فتر، (انتشار موج) نیز در راستای افقی است) اما در طناب امکان وجود این موج وجود ندارد. در فتر می‌توان موج عرضی (راستای نوسان ذرات بر راستای انتشار موج عمود باشد) نیز تولید نمود. این موج در طناب نیز قابل ایجاد است.

۱۶

$$n = \frac{t}{T_1} = \frac{12^\circ}{4^\circ} = 3$$

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

۱۷

$${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{82}^{206}\text{Pb} + 8\alpha + 6\beta$$

$$238 = 206 + A \rightarrow A = 32$$

$$92 = 82 + Z - 6 \rightarrow Z = 16$$

پاسخنامه آزمون (۱۰)

فیزیک (۳)

۱

الف) طولی (ب) شتاب لحظه‌ای (پ) جابه‌جایی (ت) نود

۲

الف) نادرست (ب) درست (پ) نادرست

۳

الف) پاشندگی نور: وقتی باریکه نور سفید خورشید به وجهی از یک منشور می‌تابد، در عبور از منشور به رنگ‌های مختلفی تجزیه می‌شود. دلیل این پدیده آن است که ضریب شکست هر محیطی به جز خلأ به طول موج نور بستگی دارد؛ یعنی وقتی باریکه نوری شامل پرتوهایی با طول موج‌های مختلف باشد، این پرتوها هنگام عبور از مرز دو محیط در زاویه‌های مختلفی شکسته می‌شوند. به این پخش‌شدگی نور، پاشندگی نور می‌گویند.

ب) تن صدا: وقتی دیافراگم را با ضربه‌ای به ارتعاش و می‌داریم، دیافراگم نوسان‌هایی انجام می‌دهد که به دلیل میرایی کم، به حرکت هماهنگ ساده نزدیک است. به صوت حاصل از چنین چشمه‌هایی تن موسیقی یا به اختصار تن گفته می‌شود. پ) ارتفاع صوت: ارتفاع بسامدی است که گوش انسان درک می‌کند.

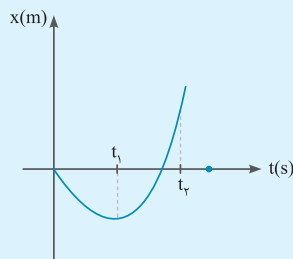
۴

شتاب ثابت - کند شونده ( $0 - t_1$ )

الف)

شتاب ثابت - تند شونده ( $t_1 - t_2$ )

ب)



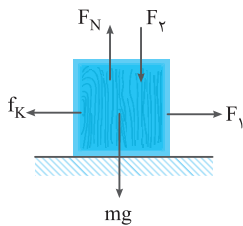
۵

$$x(t) = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0 = \frac{1}{2}at^2 + 0 + 0$$

$$2 = \frac{1}{2} \times a \times (2)^2 \rightarrow a = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F - mg = ma \rightarrow F - 10 = 1 \times 1 \rightarrow F = 11 \text{ N}$$

۶



$$F_N = mg + F_2 = 20 + 6 = 26$$

$$f_k = \mu_k \times F_N = 0.1 \times 26 = 2.6 \text{ N}$$

$$F_1 - f_k = ma \rightarrow 4.6 - 2.6 = 2a$$

$$2 = 2a \rightarrow a = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

۷

تغییرات تکانه برابر با مساحت زیر نمودار نیرو - زمان است.

$$\Delta P = S_{F-t}$$

$$P(6) - P(0) = 8 + 2 \rightarrow P(6) - 0 = 10$$

$$mv(6) = 10 \rightarrow 1 \times v(6) = 10 \rightarrow v(6) = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

۸

$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{6 \times 10^{-3}}{6 \times 10^{-2}} = \frac{6 \times 10^{-3}}{6 \times 10^{-2}} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{16}{1}} = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

۹

شیب نمودار نیرو - جابه‌جایی (از نقطه تعادل) برابر با ثابت فنر است. بنابراین:

$$F = kx$$

$$k_A > k_B > k_C$$

۱۰

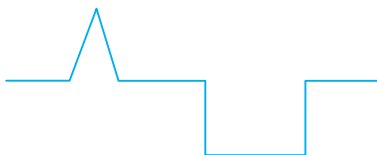
$$I_1 = \frac{P}{A_1} = \frac{1/2 \times 10^{-4}}{4} = 3 \times 10^{-5} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

الف)

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

ب) زیرا شدت صوت کاهش یافته است.

۱۱



۱۲

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

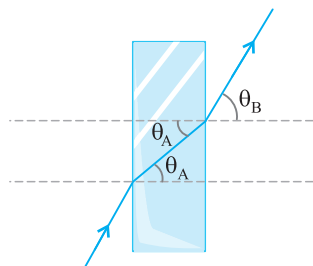
قانون اسنل:

$$1 \times 0.8 = 1.6 \times \sin \theta_A \rightarrow \sin \theta_A = \frac{1}{2} \rightarrow \theta_A = 30^\circ$$

$$n_2 \sin \theta_A = n_1 \sin \theta_B$$

$$1.6 \times \frac{1}{2} = 1 \times \sin \theta_B$$

$$0.8 = \sin \theta_B \rightarrow \theta_B = 53^\circ$$



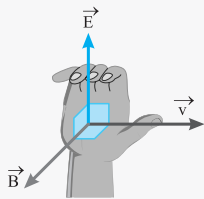
در محیط‌های شفاف دیگر متفاوت است.

**نوجه** در مورد امواج الکترومغناطیسی باید گفت که این امواج نوسان‌های میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی را که بارها و جریان‌ها تولید می‌کنند از ناحیه‌ای از فضا به ناحیه‌ای دیگر منتقل می‌کنند. بدین صورت که هر ارتعاش میدان الکتریکی موجب پدید آمدن یک میدان مغناطیسی می‌شود و نیز هر ارتعاش میدان مغناطیسی موجب پدید آمدن یک میدان الکتریکی می‌گردد.

میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی، هر دو بر راستای انتشار، عمود هستند، بنابراین موج‌های الکترومغناطیسی از نوع عرضی‌اند.

میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی همواره به‌طور سینوسی و با بسامد یکسان و همگام با یکدیگر تغییر می‌کنند.

**نوجه** جهت بردار سرعت انتشار موج الکترومغناطیسی از قاعده دست راست  $(\vec{E} \times \vec{B})$  حاصل می‌شود. یعنی اگر چهار انگشت باز شده دست خود را در جهت میدان الکتریکی قرار دهیم و آن را به سمت میدان مغناطیسی خم کنیم، انگشت باز شده شست، جهت انتشار امواج الکترومغناطیسی را نشان می‌دهند.



قاعده دست راست برای یافتن جهت انتشار موج الکترومغناطیسی

**نوجه** میدان الکتریکی متغیر با زمان میدان مغناطیسی تولید می‌کند و میدان مغناطیسی متغیر با زمان ایجاد میدان الکتریکی می‌نماید.

### تندی انتشار موج در محیط

اگر طنابی به طول  $L$  و جرم  $m$  از یک طرف به یک نقطه ثابت متصل باشد و از طرف دیگر با نیروی  $F$  کشیده شود در صورتی که یک تپ موجی در طول طناب به وجود آید سرعت آن از رابطه زیر پیروی می‌کند:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{F.L}{m}}$$

$\mu$ : همان جرم واحد طول طناب برحسب  $\frac{kg}{m}$  است.

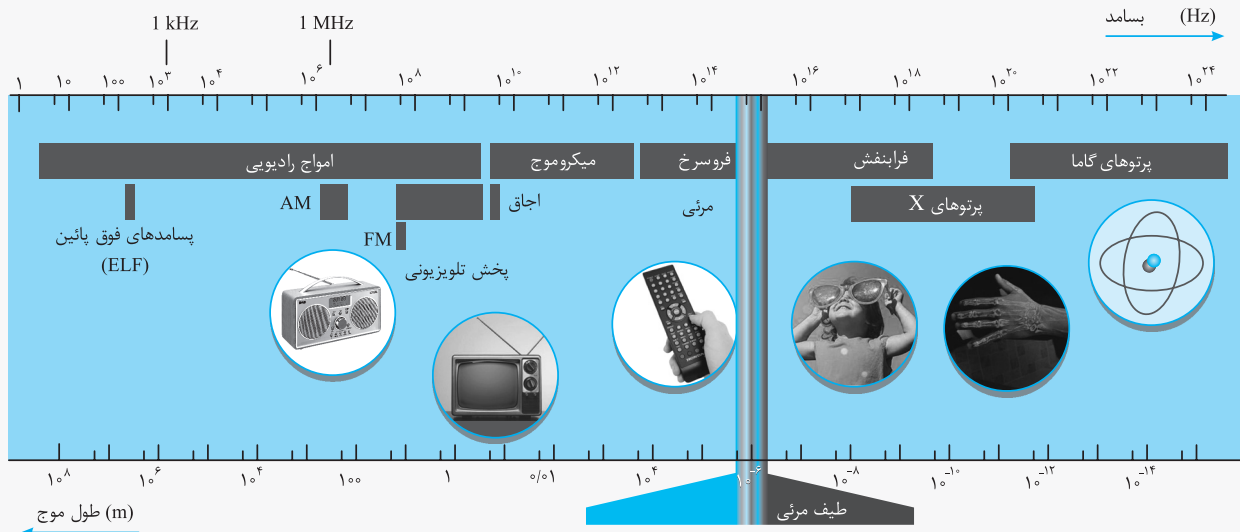
**نوجه** هر چه قدر سختی جسم بیشتر و چگالی آن کم‌تر باشد، تندی انتشار موج بیشتر است.

### انتقال انرژی توسط موج

موج حامل انرژی است که این انرژی توسط شخصی (چشمه‌ای) که موج را به وجود آورده است، تأمین می‌شود. هنگامی که موج به هر ذره از محیط می‌رسد، آن ذره را با بسامدی برابر با بسامد موج به نوسان درمی‌آورد و به این صورت، موج انرژی را منتقل می‌کند. انرژی که توسط موج منتقل می‌شود با مجذور دامنه و مجذور بسامد موج، رابطه مستقیم دارد.

### امواج الکترومغناطیسی

موج‌های الکترومغناطیسی از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی تشکیل شده‌اند. موج‌های الکترومغناطیسی نیز مانند موج‌های مکانیکی، در زمان و مکان تغییر می‌کنند با این تفاوت که در موج‌های مکانیکی ذره‌های تشکیل دهنده محیط نوسان می‌کنند و در موج‌های الکترومغناطیسی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در هر نقطه از فضا به‌طور نوسانی تغییر می‌کنند. همین موضوع سبب می‌شود که موج‌های الکترومغناطیسی برای انتشار خود الزاماً به محیط مادی نیاز نداشته باشند و در خلأ نیز منتشر شوند. میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی هر دو بر هم عمود هستند. سرعت همه موج‌های الکترومغناطیسی در خلأ یکسان و برابر سرعت نور، ولی



### بازتاب نور مرئی:

همان‌طور که می‌دانیم نور مرئی گستره‌ای از طیف امواج الکترومغناطیسی است. بازتاب نور مرئی با توجه به سطح بازتاب‌کننده به دو نوع تقسیم می‌شود:

- بازتاب آینه‌ای یا منظم:
- بازتاب پخشنده یا نامنظم:

در مواردی که سطح بازتابنده نور همچون یک آینه، بسیار هموار است، بازتاب نور را بازتاب آینه‌ای یا منظم گویند.

بازتاب پخشنده یا نامنظم: هنگامی که نور به سطحی برخورد کند که صیقلی و هموار نباشد، پرتوهای نور به صورت کار توده‌ای از پستی و بلندی‌های سطح بازتابیده و در تمام جهات پراکنده می‌شوند. به این نوع بازتابش، بازتاب پخشنده یا نامنظم می‌گوییم.

### نوع ۱

دلیل دیده شدن اجسام در محیط پیرامون ما، بازتاب پخشنده است، که نور از یک سطح به تمام جهات پخش می‌شود و آن سطح در تمام زوایا دیده می‌شود؛ اما در بازتاب آینه‌ای به علت بازتاب یک دسته پرتو به صورت موازی، آن پرتوها را فقط در یک جهت می‌توان مشاهده نمود.

منظور از سطح ناهموار، سطحی است که برآمدگی و فرورفتگی‌های آن در مقایسه با طول موج نور فرودی بزرگ‌تر باشد.

### شکست موج

هنگامی که یک موج از محیط اول به محیط دوم وارد می‌شود، به علت تفاوت تندی موج در دو محیط، موج دچار شکست می‌شود.

شکست موج به معنای تغییر جهت پیشروی موج در ورود به محیط جدید است.

شکست موج هم برای امواج مکانیکی و هم برای امواج الکترومغناطیسی رخ می‌دهد.

وقتی موج (مکانیکی - الکترومغناطیسی) به مرز جدایی دو محیط می‌رسد، بخشی از آن بازتابیده می‌شود و بخش دیگر عبور می‌کند این درحالی است که مقداری از موج در طول حرکت در هر دو مسیر جذب می‌شود.

### نوع ۱

- موج صوتی نوعی موج مکانیکی است و در عبور از یک محیط به محیط دیگر قسمتی از آن عبور کرده و قسمتی دیگر بازتاب می‌کند. مقداری از انرژی صوت در هر دو محیط جذب می‌شود.
- به دلیل پدیده شکست مکان واقعی ماهی درون آب را درک نمی‌کنیم؛ بلکه مکانی را که از ماهی می‌بینیم مکانی ظاهری و غیرواقعی است. به زبان ساده ماهی در نقطه‌ای دیگر قرار دارد و به دلیل شکست نور چشم ما آن را در مکان ظاهری‌اش احساس می‌کند.

### پیشروی تپ در طنابی با دو قسمت متفاوت (ضخیم و نازک):

فرض کنید یک تپ در طول طناب در حال پیشروی است، هنگامی که این تپ به مرز جدایی قسمت نازک از قسمت ضخیم می‌رسد، بخشی از این تپ باز می‌تابد و بخش دیگر عبور می‌کند. برای یک موج سینوسی بسامد این دو موج همان بسامد موج فرودی است که توسط چشمه موج تعیین می‌شود. تندی موج در قسمت ضخیم کم‌تر است و طول موج آن نیز کوتاه‌تر است.

$$v_{\text{نازک}} < v_{\text{ضخیم}} \rightarrow \mu_{\text{نازک}} > \mu_{\text{ضخیم}} \quad v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} \rightarrow \lambda_{\text{ضخیم}} < \lambda_{\text{نازک}}$$

### نوع ۱

۱- وقتی موج از قسمت ضخیم طناب به قسمت نازک طناب می‌رسد، بسامد آن تفاوتی نمی‌کند؛ اما سرعت آن در قسمت نازک بیشتر است و طول موج در قسمت نازک بزرگ‌تر است.

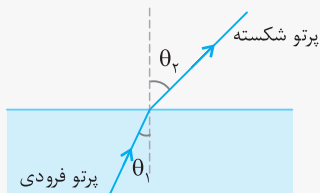
۲- در حالت‌های دو بعدی و سه بعدی با عبور موج از یک مرز و ورود آن به محیط دیگر، به علت تفاوت در تندی موج در دو محیط، ممکن است جهت انتشار موج تغییر یابد و همان‌طور که بیان شد به این تغییر جهت انتشار موج، شکست موج می‌گویند.

۳- تندی امواج روی سطح آب به عمق آب در آن قسمت بستگی دارد. با ورود موج به بخش کم عمق، تندی موج سطحی کاهش می‌یابد.

### قانون شکست عمومی

هنگامی که یک موج (مکانیکی - الکترومغناطیسی) از یک محیط به محیط دیگر وارد می‌شود در مرز جدایی دو محیط دچار شکست می‌شود؛ اگر تندی انتشار موج فرودی را  $v_1$  و تندی انتشار موج شکست یافته را  $v_2$  بنامیم، بین تندی‌های  $v_1$  و  $v_2$  و زاویه‌های  $\theta_1$  و  $\theta_2$  رابطه قانون شکست عمومی حاکم است:

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1}$$



$\theta_1$ : زاویه پرتو فرودی با خط عمود بر سطح جدایی  
 $\theta_2$ : زاویه پرتو شکسته با خط عمود بر سطح جدایی

### نوع ۱

هر چه سرعت انتشار موج در محیطی بیشتر باشد، زاویه آن با خط عمود بر مرز جدایی بیشتر است؛ بنابراین:

(۱) موج از محیط با سرعت کم‌تر وارد محیط با سرعت بیشتر می‌شود:

$$v_1 < v_2 \rightarrow \theta_1 < \theta_2$$

(۲) موج از محیط با سرعت بیشتر وارد محیط با سرعت کم‌تر می‌شود:

$$v_1 > v_2 \rightarrow \theta_1 > \theta_2$$



### شکست امواج الکترومغناطیسی

همان‌طور که بیان شد امواج الکترومغناطیسی (از جمله نور مرئی) با گذر از یک محیط به محیط دیگر که در آن تندی امواج متفاوت است، شکست پیدا می‌کند.

### ضریب شکست محیط در امواج الکترومغناطیسی

همان‌طور که بیان شد، وقتی پرتو نوری از محیطی شفاف، وارد محیط شفاف دیگر شود، بخشی از نور باز می‌تابد و بخشی دیگر وارد محیط دوم می‌گردد. آن بخشی از نور که وارد محیط دوم می‌شود، به علت تفاوت تندی نور در دو محیط شکسته می‌شود. بنابراین خواهیم داشت:

$$n = \frac{\text{تندی نور در خلأ}}{\text{تندی نور در یک محیط}} = \frac{c}{v}$$

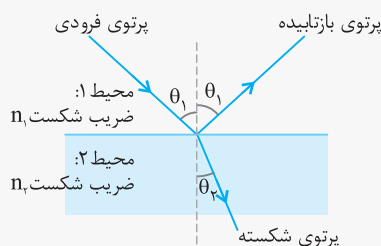
$$n = \frac{c}{v} \rightarrow v = \frac{c}{n}$$

$$\text{قانون شکست عمومی: } \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1} \rightarrow \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{\frac{c}{n_2}}{\frac{c}{n_1}} = \frac{n_1}{n_2}$$

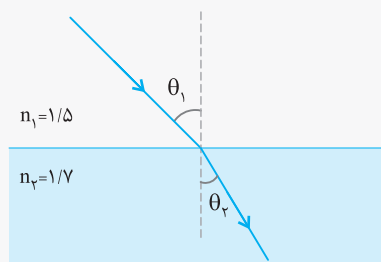
(برای تمام امواج)

$$\rightarrow \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{n_1}{n_2} \rightarrow \boxed{\sin \theta_2 \times n_2 = \sin \theta_1 \times n_1}$$

قانون انسل



**توجه** سرعت نور در محیط‌های شفاف همواره کم‌تر از سرعت نور در خلأ است؛ به همین علت  $n$  همواره بزرگ‌تر یا مساوی یک است. هر چه  $n$  بزرگ‌تر باشد (یعنی  $n = \frac{c}{v}$ ) یعنی سرعت نور در آن محیط کم‌تر است؛ بنابراین در ورود نور از محیط با  $n$  کوچک‌تر به  $n$  بزرگ‌تر، پرتو نور به خط عمود به مرز جدایی نزدیک‌تر و از مرز جدایی دو محیط دورتر می‌گردد.

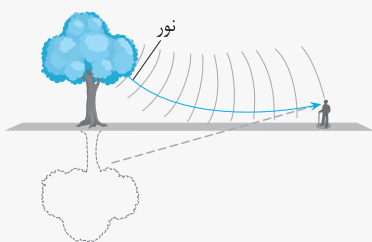


$$n_2 > n_1 \rightarrow \theta_2 < \theta_1$$

### سراب

در روزهای گرم سال، ممکن است بر سطح زمین آبی را در دور دست مشاهده کنید؛ اما وقتی به آن محل می‌رسید، خبری از آن آب نباشد و آن محل کاملاً خشک باشد. به این پدیده سراب یا سراب آبیگر می‌گویند و نه تنها می‌توان آن را مشاهده کرد؛ بلکه می‌توان از آن عکس هم گرفت. در روزهای گرم هر چه به سطح زمین نزدیک‌تر شویم هوا گرم‌تر می‌شود و این مسئله، باعث کاهش چگالی هوا می‌گردد (هر چه هوا گرم‌تر باشد چگالی آن کم‌تر است). همان‌طور که می‌دانیم کاهش چگالی هوا باعث کاهش ضریب شکست می‌گردد.

پرتوهای نوری هر چه به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شوند با لایه‌هایی با ضریب شکست کم‌تر مواجه می‌گردند. این مسئله باعث تغییر مسیر پرتوها می‌شد به طوری که مسیر حرکت آن‌ها در نزدیکی سطح زمین کاملاً افقی شده و بعد از آن دوباره رو به بالا خم می‌شود و این بار یعنی وقتی پرتوها رو به بالا حرکت می‌کنند، هر چه به سمت بالا می‌روند با لایه‌هایی با ضریب شکست بیشتر مواجه می‌گردند و این موضوع باعث می‌شود به خط عمود نزدیک‌تر گردند. هنگامی که بخشی از این پرتوها به چشم ما می‌رسد، بر نظرمان می‌آید که منشأ پرتوها از امتداد رو به عقب آن‌ها می‌باشد که در نهایت به چشم ما رسیده است و این برداشت سبب می‌گردد که این حس ایجاد شود که پرتوها از سطح زمین آمده‌اند.



### پاشندگی نور

ضریب شکست هر محیطی به جز خلأ به طول موج نور بستگی دارد. به عبارت دیگر وقتی باریکه‌ای از نور شامل پرتوهایی با طول موج‌های مختلف باشد، این پرتوها هنگام عبور از مرز دو محیط با زاویه‌های مختلفی شکسته می‌شوند. به این پخشندگی طول موج‌های مختلف نور، پاشندگی نور می‌گویند که نمونه بسیار زیبای آن در منشور مشاهده می‌شود.

**توجه** ضریب شکست یک محیط برای طول موج‌های کوتاه‌تر،

بیشتر است.  $\text{بنفش } \lambda > \text{آبی } \lambda > \text{سبز } \lambda > \text{زرد } \lambda > \text{نارنجی } \lambda > \text{قرمز } \lambda$

$\text{بنفش } n > \text{آبی } n > \text{سبز } n > \text{زرد } n > \text{نارنجی } n > \text{قرمز } n$

$\text{بنفش } \theta_r < \theta_r < \theta_r < \theta_r < \theta_r < \theta_r$

$\theta_r$ : زاویه شکست

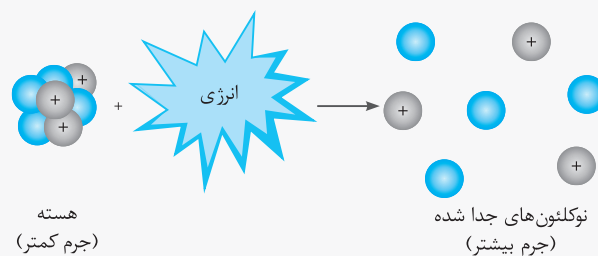
۳) نیروی هسته‌ای مستقل از بار الکتریکی است، یعنی نیروی ربایشی هسته‌ای یکسانی بین دو پروتون، دو نوترون یا یک پروتون و یک نوترون وجود دارد.

**توجه** ۱) نیروی هسته‌ای کوتاه برد است؛ ولی نیروی دافعه الکترواستاتیک بین پروتون‌ها بلند برد است و همان‌طور که بیان شد برای پایداری هسته باید این دو نیروی دافعه و جاذبه موازنه شود، به همین سبب هنگامی که تعداد پروتون‌های هسته افزایش یابد، برای پایداری هسته لازم است که تعداد نوترون‌های آن نیز افزایش یابد؛ زیرا با افزایش تعداد نوترون‌ها جاذبه هسته‌ای که ناشی از جاذبه بین نوکلئون‌ها (پروتون - پروتون، پروتون - نوترون، نوترون - نوترون) است، نیز افزایش می‌یابد و موازنه بین نیروی دافعه و جاذبه از بین نمی‌رود.

۲) هسته پایدار با بیشترین پروتون ( $Z = 83$ ) متعلق به بیسموت ( ${}_{83}^{209}\text{Bi}$ ) است. به جزء توریم ( $Z = 90$ ) و اورانیوم ( $Z = 92$ ) که در طبیعت یافت می‌شوند، سایر هسته‌های سنگین با عدد اتمی بزرگ‌تر از 83 ناپایدار می‌باشند.

### انرژی بستگی هسته‌ای

انرژی لازم برای جدا کردن نوکلئون‌های یک هسته را انرژی بستگی هسته‌ای می‌نامیم. مشاهدات تجربی اثبات کرده است که مجموع جرم پروتون‌ها و نوترون‌های یک هسته اندکی بزرگ‌تر از جرم هسته است. این اختلاف جرم بین مجموع جرم نوکلئون‌های هسته و جرم هسته را کاستی جرم هسته می‌نامیم و می‌توانیم با استفاده از رابطه جرم انرژی انیشتین ( $E = mc^2$ ) معادل انرژی این جرم را محاسبه نماییم. این انرژی دقیقاً با انرژی بستگی هسته‌ای برابر است.



انرژی‌ای معادل انرژی بستگی هسته‌ای باید تأمین شود تا هسته به نوکلئون‌های تشکیل‌دهنده آن تقسیم شود.

### ترازهای انرژی هسته‌ای

۱) انرژی نوکلئون‌های هسته کوانتیده است.  
۲) نوکلئون‌های هسته هر مقداری از انرژی دلخواه را نمی‌توانند داشته باشند.

۳) نوکلئون‌های هسته می‌توانند با جذب انرژی به ترازهای بالاتر انرژی

در هسته بروند که این امر سبب برانگیختگی هسته می‌شود.  
۴) هسته برانگیخته با گسیل فوتون به تراز پایه باز می‌گردد.  
۵) انرژی فوتون گسیل شده برابر با اختلاف انرژی بین حالت برانگیخته هسته و انرژی حالت پایه هسته می‌باشد.

**توجه** ۱) هسته برانگیخته را با گذاشتن ستاره روی نماد  ${}^A_Z X$  به صورت  ${}^A_Z X^*$  مشخص می‌کنند.  
۲) اختلاف بین ترازهای انرژی نوکلئون‌ها در هسته از مرتبه keV تا MeV است، در حالی که اختلاف بین ترازهای انرژی الکترون‌ها در اتم از مرتبه eV است. بنابراین هسته‌ها در واکنش‌های شیمیایی برانگیخته نمی‌شوند.

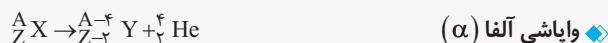
### پرتوهای طبیعی

◆ یک هسته ناپایدار (پرتوزا) به طور طبیعی (خودبه‌خودی) واپاشی می‌کند و در این فرآیند ذرات یا فوتون‌های پرتوهای آزاد می‌شوند. این فرآیند واپاشی را پرتوایی طبیعی می‌نامیم.  
در پرتوایی طبیعی سه نوع پرتو ایجاد می‌گردد:  
۱) پرتوهای آلفا ( $\alpha$ ) ← با عمق نفوذ حدود  $10^{-4}$  mm در ورقه سربی (کوتاه برد)

۲) پرتوهای  $\beta$  (از دو نوع  $\beta^+$  و  $\beta^-$ ) ← با عمق نفوذ  $10^{-3}$  mm در سرب (میان برد)

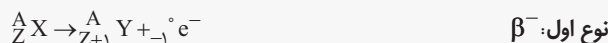
۳) پرتوهای گاما ← با عمق نفوذ حدود  $10^3$  mm در سرب (بلند برد)

**توجه** در فرآیند واپاشی هسته‌ای اصل پایستگی تعداد نوکلئون‌ها حکم‌فرما است، یعنی تعداد نوکلئون‌ها، قبل از فرآیند با تعداد نوکلئون‌ها بعد از فرآیند برابر است.



**توجه** ۱) پرتوهای  $\alpha$ ، همان ذرات باردار مثبت  ${}^4_2 \text{He}$  هستند (هسته اتم هلیم)  
۲) واپاشی  $\alpha$  در هسته‌های سنگین صورت می‌گیرد.  
۳) در واپاشی  $\alpha$ ، X هسته مادر و Y هسته دختر نامیده می‌شود.  
۴) در صورت جذب ذرات آلفا از راه تنفس یا دستگاه گوارش، آسیب شدید به بافت‌های بدن وارد می‌گردد.  
۵) یکی از کاربردهای واپاشی آلفا آشکارسازهای دود هستند که براساس کاهش جریان دستگاه آشکارساز (جریان حاصل از واپاشی  $\alpha$ ) در صورت وجود دود، عمل می‌کند.

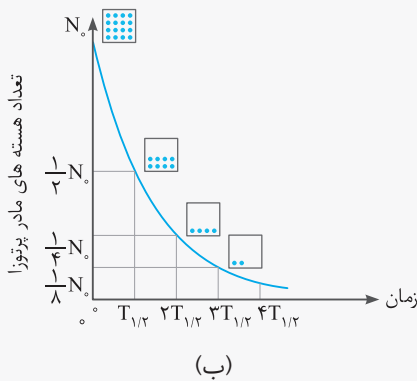
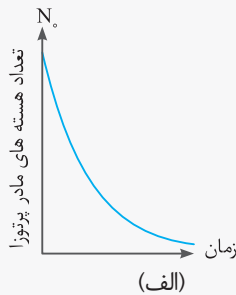
◆ واپاشی  $\beta$ :



### نیمه عمر

مدت زمان لازم برای کاهش تعداد هسته‌های مادر به نصف مقدار اولیه را نیمه عمر واپاشی می‌نامیم و آن را با نماد  $T_{\frac{1}{2}}$  نشان می‌دهیم. (الف) با گذشت زمان تعداد هسته‌های مادر پرتوزا در یک نمونه کاهش می‌یابد.

(ب) با گذشت هر نیمه عمر، نیمی از هسته‌های مادر پرتوزای باقی مانده واپاشی می‌کنند.



به طور مثال وقتی می‌گوییم نیمه عمر عنصر  $X$ ،  $10$  ثانیه است؛ یعنی تعداد  $100$  هسته از عنصر  $X$  در مدت  $10$  ثانیه، به تعداد  $50$  هسته از عنصر  $X$  کاهش یابد.

### تعداد هسته‌های باقی مانده پس از مدت زمان $t$

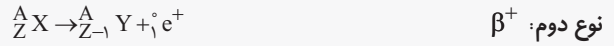
اگر تعداد هسته‌های مادر اولیه در یک نمونه پرتوزا  $N_0$  باشد، پس از گذشت زمان  $t$ ، تعداد هسته‌های پرتوزای باقی مانده ( $N$ ) از رابطه زیر پیروی می‌کند:

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \quad \text{و} \quad n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}$$

$T_{\frac{1}{2}}$ : نیمه عمر هسته‌های مادر

### توجه

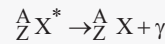
این نوع واپاشی متداول‌ترین نوع واپاشی در هسته‌ها است. در این نوع واپاشی یکی از نوترون‌های درون هسته به یک پروتون و یک الکترون تبدیل می‌گردد.



در این نوع واپاشی  $\beta$ ، ذره پوزیترون ( ${}^0_1 e^+$ ) گسیل می‌شود. این ذره، که در واقع یک الکترون مثبت است، جرمی معادل جرم الکترون دارد و بار آن مثبت است. در این نوع واپاشی یکی از پروتون‌های درون هسته به یک نوترون و یک پوزیترون ( $\beta^+$ ،  ${}^0_1 e^+$ ) تبدیل می‌شود و سپس این پوزیترون از هسته گسیل می‌شود.

### واپاشی گاما ( $\gamma$ )

در اغلب واپاشی‌های هسته‌ای، پس از واپاشی آلفا یا بتا، هسته در حالت برانگیخته قرار دارد و با گسیل فوتون‌های پرانرژی (پرتوگاما) به حالت پایه می‌رسد. در این نوع واپاشی  $A$  و  $Z$  تغییر نمی‌کنند.



### واپاشی آلفا و آشکارسازی‌های دور

در این دستگاه مقداری ماده پرتوزا بین دو صفحه قرار می‌گیرد که گسیل ذره‌های آلفا حاصل از این ماده پرتوزا باعث یونیده شدن مولکول‌های هوا می‌شود. در نهایت جذب هر کدام از این یونها به صفحات  $+$  و  $-$  باعث ایجاد جریان بین صفحات می‌شود. وجود ذرات دود میان صفحات جریان را کاهش می‌دهد و باعث به کار افتادن هشداردهنده می‌شود.

