

۳-۱ انرژی جنبشی

۱ تقریباً بیشتر شهاب‌سنگ‌هایی که وارد جو زمین می‌شوند به دلیل اصطکاک زیاد با ذرات تشکیل دهنده جو، به دمای بالایی می‌رسند و می‌سوزند. شکل زیر شهاب‌سنگی به جرم 10^5 kg را نشان می‌دهد که با تندی 400 km/s وارد جو زمین شده است. انرژی جنبشی این شهاب‌سنگ را به دست آورید. این انرژی را با انرژی جنبشی یک هواپیمای مسافربری به جرم 10^4 kg که با تندی 70 m/s در حرکت است مقایسه کنید.



۲ حدود ۵۰۰۰۰ سال پیش شهاب سنگی در نزدیک آریزونا آمریکا به زمین برخورد کرده و چاله‌ای بزرگ از خود به جای گذاشته است (شکل زیر). با اندازه‌گیری‌های جدید (۲۰۰۵ میلادی) برآورد شده است که جرم این شهاب‌سنگ حدود 10^8 kg بوده و با تندی 12000 km/s به زمین برخورد کرده است. انرژی جنبشی این شهاب سنگ هنگام برخورد به زمین چقدر بوده است؟ (خوب است بدانید انرژی آزاد شده توسط هر تن TNT تقریباً برابر $10^9 \times 4/2$ است.)



۳-۲ و ۳-۳ کار انجام شده توسط نیروی ثابت و کار و انرژی جنبشی

۳ در شکل‌های (الف) و (ب) جرم ارا به‌ها یکسان است. برای اینکه تندی ارا به‌ها از صفر به مقدار معین v برسد، کار انجام شده در هر دو حالت را باهم مقایسه کنید.

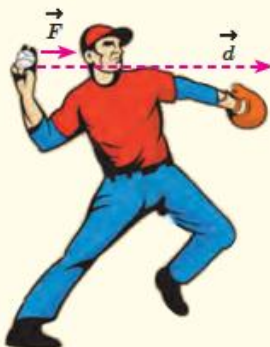


(الف)



(ب)

۴ ورزشکاری سعی می‌کند توپ بیسبالی به جرم 150 g را با بیشترین تندی ممکن پرتاب کند. به این منظور، ورزشکار نیرویی به بزرگی $F = 750 \text{ N}$ تا لحظه پرتاب توپ و در امتداد جابه‌جایی $d = 1/5 \text{ m}$ بر آن وارد می‌کند (شکل زیر). با چشم‌پوشی از مقاومت هوا، تندی توپ هنگام جدا شدن از دست ورزشکار چقدر است؟



۵ آیا کار کل انجام شده بر یک جسم در یک جابه‌جایی می‌تواند منفی باشد؟ توضیح دهید.

۶ برای آنکه نیروی خالصی، بتواند تندی جسم را از صفر به v برساند باید مقدار کار W را روی آن انجام دهد. اگر قرار باشد تندی این جسم از صفر به $3v$ برسد کاری که روی جسم باید انجام شود چند برابر W است؟

جواب ۱:

شهاب سنگ $\left\{ \begin{array}{l} m = 14 \times 10^3 \text{ kg} \\ v = 4000 \frac{m}{s} \end{array} \right. \rightarrow K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \times 14 \times 10^3 \times (4000)^2 = 112 \times 10^9 \text{ J}$

هواپیما $\left\{ \begin{array}{l} m = 72 \times 10^3 \text{ kg} \\ v = 250 \frac{m}{s} \end{array} \right. \rightarrow K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \times 72 \times 10^3 \times (250)^2 = 225 \times 10^6 \text{ J}$

$\frac{K_{\text{شهاب سنگ}}}{K_{\text{هواپیما}}} \approx 498$

$K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \times 14 \times 10^3 \times (12 \times 10^3) = 1008 \times 10^6 \text{ J} \times \frac{TNT \text{ جی}}{42 \times 10^6 \text{ J}} = 24 \times 10^5 \text{ TNT تن}$ جواب ۲:

جواب ۳:

$w_{T_{\text{اف}}} = \frac{1}{2} m (v^2 - 0) = \frac{1}{2} m v^2$

$w_T = \frac{1}{2} m (v^2 - 0) = m v^2 \rightarrow \frac{w_T}{w_{T_{\text{اف}}}} = \frac{1}{2} \frac{w_T}{w_T}$

جواب ۴:

$m = 0.15 \text{ kg}, F = 75 \text{ N}, d = 1.5 \text{ m}, v_i = 0, v_f = ?$

$w_T = \Delta K \rightarrow \cancel{w_F} = \frac{1}{2} m (v_f^2 - v_i^2) \rightarrow 75 \times 1.5 \times 1 = \frac{1}{2} \times 0.15 \times (v_f^2) \rightarrow v_f = 31.72 \frac{m}{s}$

جواب ۵: بله، هرگاه انرژی کاهش پیدا کند ΔK است و چون $w_T = \Delta K$ پس: $w_T < 0$

$w = \frac{1}{2} m (v^2 - 0) = \frac{1}{2} m v^2$ و $w_{PT} = \frac{1}{2} m (9v^2 - 0) = \frac{9}{2} m v^2 = 9w$ جواب ۶:

۳-۴ کار و انرژی پتانسیل

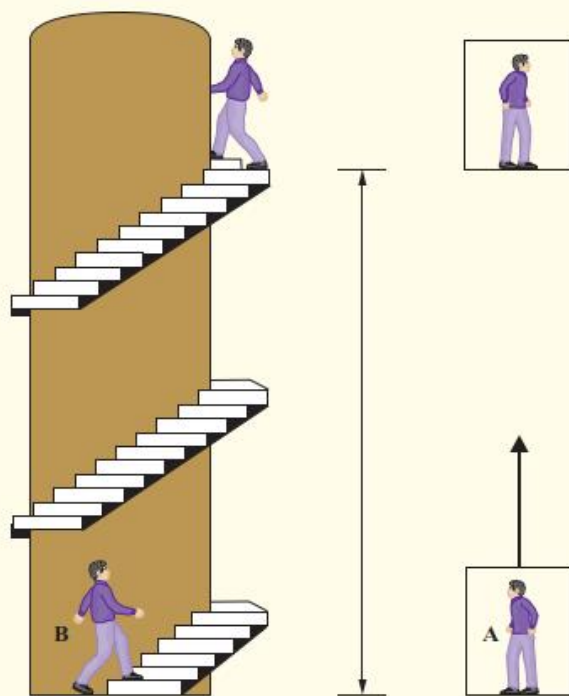
۱۰ آیا انرژی جنبشی یک جسم می‌تواند منفی باشد؟ انرژی پتانسیل گرانشی یک سامانه چگونه؟ توضیح دهید.

۱۱ دو شخص هم جرم A و B به طبقه سوم ساختمانی می‌روند. شخص A با آسان‌بُر (آسانسور) و شخص B به آرامی از پله‌های ساختمان بالا می‌روند. گزاره‌های درست را با ذکر دلیل مشخص کنید.

الف) در طبقه سوم، انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) شخص A از شخص B کم‌تر است، زیرا آرام‌تر بالا رفته است.

ب) در طبقه سوم، انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) شخص A کمتر از شخص B است، زیرا برای رسیدن به طبقه سوم ساختمان مسافت کمتری پیموده است.

پ) کار نیروی وزن برای هر دو شخص در طول مسیر یکسان است. ت) انرژی پتانسیل گرانشی هر دو شخص در طبقه سوم ساختمان یکسان است.



۷ اگر مطابق شکل زیر سطلی را در دست نگه دارید، آیا نیروی دست شما هنگامی که با تندی ثابت در مسیر افقی قدم می‌زنید روی سطل کاری انجام می‌دهد؟ اگر تندی حرکت شما در طول مسیر کم و زیاد شود چگونه؟ پاسخ خود را در هر مورد توضیح دهید. از مقاومت هوا در مقابل حرکت سطل، چشم‌پوشی کنید.

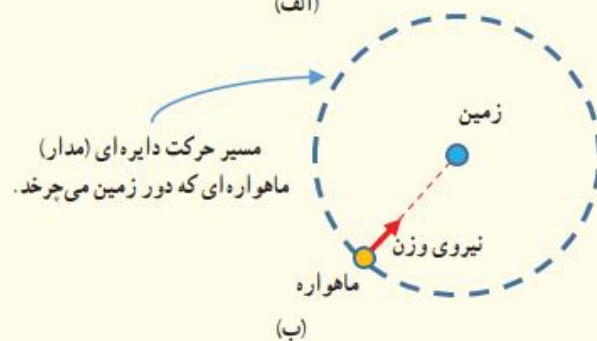


۸ شخصی گلوله‌ای برفی به جرم 15 g را از روی زمین برمی‌دارد و تا ارتفاع 180 cm از سطح زمین بالا می‌برد و سپس در همان ارتفاع آن را با تندی 12 m/s پرتاب می‌کند. کار انجام شده توسط شخص روی گلوله برف چقدر است؟

۹ ماهواره‌ها در مدارهای معین و با تندی ثابتی دور زمین می‌چرخند. حرکت یک ماهواره به دور زمین شکل (الف) را می‌توان مطابق شکل (ب) مدل‌سازی کرد. همان‌طور که دیده می‌شود نیروی خالصی (نیروی وزن) همواره بر ماهواره وارد می‌شود. چگونه امکان دارد با وجود وارد شدن این نیرو به ماهواره، انرژی جنبشی آن ثابت بماند؟



(الف)



جواب ۷: خیر، زیرا نیروی دست مابرجابجایی عمود است.

در حالتی که انرژی تغییر کند، چون زاویه‌ی نیروی دست مابراستای جابجایی عمود نباشد، بنابراین کار انجام خواهد شد.

جواب ۸: $w = ?$ و $v_1 = 0$ و $v_2 = 12 \frac{m}{s}$ و $\Delta h = 1.8 m$ و $m = 0.15 kg$

$$w_{mg} = -mg\Delta h = -0.15 \times 10 \times 1.8 = -2.7 J \quad \text{و} \quad w_T = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2} \times 0.15 (144) = 10.8 J$$

$$w_T = w_{mg} + w_{\text{شخص}} \rightarrow 10.8 = -2.7 + w_{\text{شخص}} \rightarrow w_{\text{شخص}} = 13.5 J$$

جواب ۹: چون این نیرو بر مسیر حرکت ماهواره همیشه عمود است، بنابراین کاری که روی ماهواره انجام نمی‌دهد. بنابراین انرژی جنبشی ماهواره ثابت می‌ماند.

جواب ۱۰: انرژی جنبشی جسم همیشه نامنفی است. اما انرژی پتانسیل گرانشی یک سامانه، نسبت به مبدأ در نظر می‌گیریم بستگی دارد و می‌تواند مثبت، منفی و صفر باشد.

جواب ۱۱:

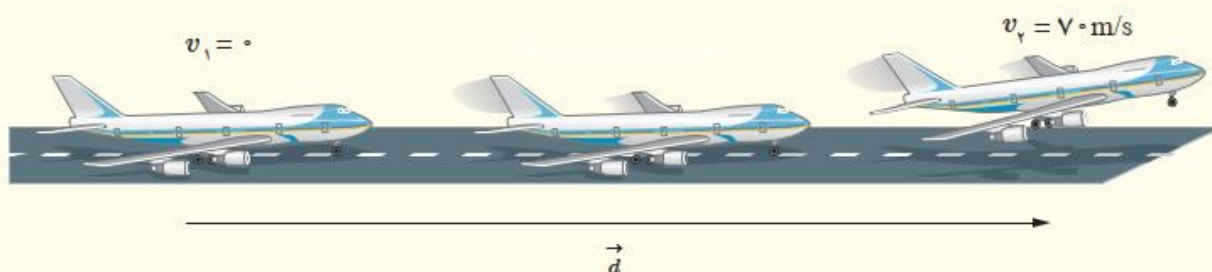
الف) نادرست. انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) برای دو شخص هم جرم، فقط به ارتفاع از مبدأ در نظر گرفته شده بستگی دارد.

ب) نادرست

پ) درست

ت) درست

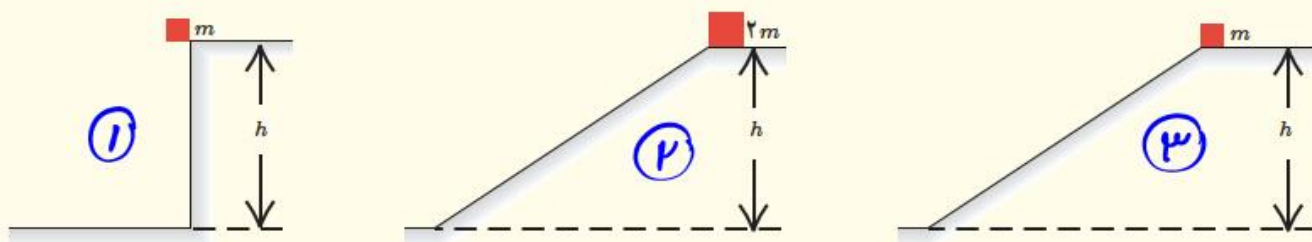
۱۲) شکل زیر هواپیمایی به جرم $10^4 \times 7/2$ kg را نشان می‌دهد که از حال سکون شروع به حرکت می‌کند و پس از 2050 m جابه‌جایی در امتداد باند هواپیما، به تندی برخاستن $v_f = 70$ m/s می‌رسد. الف) کار کل نیروهای وارد بر هواپیما را در این جابه‌جایی حساب کنید. ب) یک دقیقه پس از برخاستن، هواپیما تا ارتفاع 560 m از سطح زمین اوج می‌گیرد و تندی آن به 140 m/s می‌رسد. در این مدت، کار نیروی وزن چقدر است؟ پ) به جز نیروی وزن، چه نیروهای دیگری بر هواپیما اثر می‌کند (با این نیروها در علوم سال ششم آشنا شدید)؟ کار کدام یک از این نیروها مثبت و کار کدام یک از آنها منفی است؟



۵-۳ و ۶-۳ پایستگی انرژی مکانیکی و کار و انرژی درونی

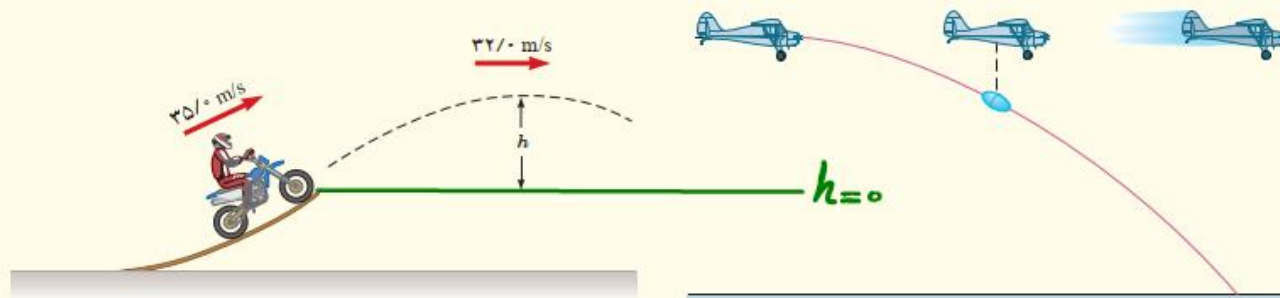
در کدام حالت، جسم الف) بیشترین تندی را هنگام رسیدن به سطح افقی دارد؟ ب) تا هنگام رسیدن به پایین مسیر، بیشترین مقدار کار نیروی وزن روی آن انجام شده است؟

۱۳) در سه شکل زیر اجسامی از حالت سکون و ارتفاع h نسبت به سطح افق رها می‌شوند و نیروی اصطکاک و مقاومت هوا بر آنها وارد نمی‌شود.



۱۵) موتورسواری از انتهای سکویی مطابق شکل زیر، پرشی را با تندی 350 m/s انجام می‌دهد. اگر تندی موتورسوار در بالاترین نقطهٔ مسیرش به 320 m/s برسد، ارتفاع h را پیدا کنید. اصطکاک و مقاومت هوا را در طول مسیر حرکت موتورسوار نادیده بگیرید.

۱۴) در شکل زیر هواپیمایی که در ارتفاع 300 m از سطح زمین و با تندی 50 m/s پرواز می‌کند، بسته‌ای را برای کمک به آسیب‌دیدگان زلزله رها می‌کند. تندی بسته هنگام برخورد به زمین چقدر است؟ از تأثیر مقاومت هوا روی حرکت بسته چشم‌پوشی کنید.



$$m = 172 \dots \text{kg} \text{ و } v_1 = 0 \text{ و } v_2 = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ و } \Delta h = 54.0 \text{m}$$

جواب ۱۲:

$$\text{الف) } w_T = \frac{1}{\gamma} m (v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{\gamma} \times 172 \dots \times (10^2 - 0) = 172 \times 10^4 \text{ J}$$

$$\text{ب) } w_{mg} = -mg \Delta h = -172 \dots \times 10 \times 54.0 = -395 \times 10^4 \text{ J}$$

جـ) کار نیروی جاذبه مثبت و کار نیروی مقاومت هوا منفی است.

$$\text{جواب ۱۳: الف) } E_1 = E_2 \rightarrow \cancel{K_1} + u_1 = K_2 + \cancel{u_2} \rightarrow mgh = \frac{1}{\gamma} m v_2^2 \rightarrow v_2 = \sqrt{2gh}$$

چون جرم ها از طرفین ساده می شوند و ارتفاع اولیه ی هر سه جسم یکسان است، پس تنزی آن ها هنگام رسیدن

به سطح افقی برابر است.

$$\text{ب) پس کار نیروی وزن در حالت ۲ بیشترین است. } w_{mg_1} = mgh \text{ و } w_{mg_2} = 2mgh \text{ و } w_{mg_3} = mgh$$

$$\text{جواب ۱۴: } E_1 = E_2 \rightarrow K_1 + u_1 = K_2 + \cancel{u_2} \rightarrow \frac{1}{\gamma} m v_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{\gamma} m v_2^2$$

$$\frac{1}{\gamma} \times 2500 + 10 \times 300 = \frac{1}{\gamma} \times v_2^2 \rightarrow v_2 = 92.1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{جواب ۱۵: } E_1 = E_2 \rightarrow K_1 + \cancel{u_1} = K_2 + u_2 \rightarrow \frac{1}{\gamma} m v_1^2 = \frac{1}{\gamma} m v_2^2 + mgh$$

$$\frac{1}{\gamma} \times 2500 = \frac{1}{\gamma} \times 32^2 + 10h \rightarrow h = 1050 \text{m}$$

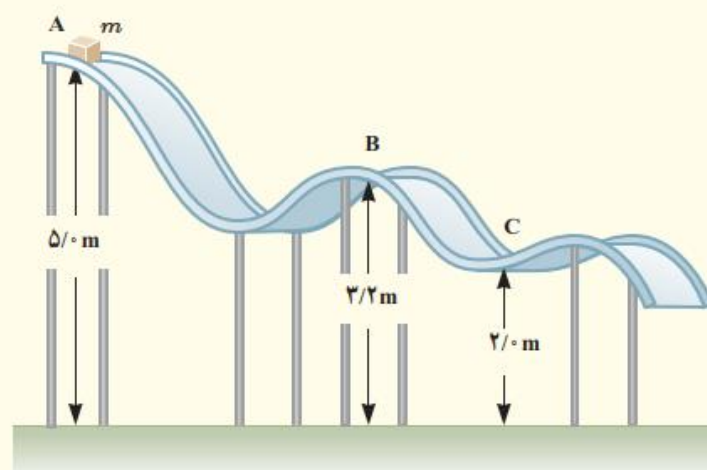
۱۶ سه توپ مشابه، از بالای ساختمانی با تندی یکسانی پرتاب می‌شوند (شکل زیر). توپ (۱) در امتداد افق، توپ (۲) با زاویه‌ای بالاتر از امتداد افق و توپ (۳) با زاویه‌ای پایین‌تر از امتداد افق پرتاب می‌شود. با نادیده گرفتن مقاومت هوا، انرژی جنبشی توپ‌ها را هنگام برخورد با سطح زمین، با یکدیگر مقایسه کنید.



۱۷ گلوله‌ای به جرم 50 g از دهانه تفنگی با تندی $1/5\text{ km/s}$ و ارتفاع $1/6\text{ m}$ از سطح زمین شلیک می‌شود. اگر گلوله با تندی 45 km/s به زمین برخورد کند، الف) در مدت حرکت گلوله کار نیروی مقاومت هوا چقدر است؟ ب) مقدار به دست آمده در قسمت الف) را با کار نیروی وزن مقایسه کنید.

۱۸ جسمی به جرم $m = 12\text{ kg}$ در نقطه A از حالت سکون رها می‌شود و در مسیری بدون اصطکاک سُر می‌خورد (شکل زیر). تعیین کنید:

الف) تندی جسم را در نقطه B
ب) کار نیروی گرانشی را در حرکت جسم از نقطه A تا نقطه C.



۱۹ شکل زیر گلوله‌ای را نشان می‌دهد که از سقف کلاسی آویزان شده و دانش‌آموزی آن را از وضعیت تعادل خارج کرده و در برابر نوک پینی خود گرفته است.

الف) وقتی دانش‌آموز گلوله را رها می‌کند هنگام برگشت به او برخورد نمی‌کند. چرا؟ (این تجربه ساده ولی هیجان‌انگیز را در صورت امکان در کلاستان انجام دهید.)

ب) اگر دانش‌آموز هنگام رها کردن گلوله، آن را هل دهد، هنگام برگشت آن، چه اتفاقی می‌افتد؟



۳-۲ توان

۲۰ بالابری با تندی ثابت، باری به جرم 650 kg را در مدت $3/0$ دقیقه تا ارتفاع 75 m بالا می‌برد. اگر جرم بالابر 320 kg باشد، توان متوسط مفید موتور آن چند وات و چند اسب بخار است؟

۲۱ شخصی به جرم 72 kg ، در مدت زمان 90 s از تعداد 50 پله بالا می‌رود. توان متوسط مفید او چند وات است؟ ارتفاع هر پله را 30 cm فرض کنید.

۲۲ سالانه نزدیک به 125 میلیارد لیتر مواد و فراورده‌های نفتی از طریق حدود 14000 km خطوط لوله در نقاط مختلف کشور توزیع می‌شود. این خطوط در طول مسیر خود از مراکز انتقال متعددی می‌گذرند تا توان لازم را برای ادامه راه به دست

$$E_1 = E_2 \rightarrow K_1 + u_1 = K_2 + u_2 \rightarrow \frac{1}{2} m v_1^2 + mgh = \frac{1}{2} m v_2^2 \rightarrow v_2 = \sqrt{2gh} + v_1$$

جواب ۱۷:

باتوجه به یکسان بودن ارتفاع و تنزی اولیه هر سه حالت، تنزی آن ها در هنگام برخورد به زمین یکسان است.

باتوجه به یکسان بودن جرم و تنزی هر سه حالت، انرژی جنبشی آن ها هنگام برخورد به زمین برابر است. $K = \frac{1}{2} m v^2$

$$m = 5 \times 10^{-2} \text{ kg}, v_1 = 1500 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \Delta h = 1.4 \text{ m}, v_2 = 450 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

جواب ۱۷:

$$E_1 = K_1 + u_1 = \frac{1}{2} m v_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2} \times 5 \times 10^{-2} \times (1500)^2 + 5 \times 10^{-2} \times 10 \times 1.4 = 54250.8 \text{ J}$$

$$E_2 = K_2 + u_2 = \frac{1}{2} m v_2^2 = \frac{1}{2} \times 5 \times 10^{-2} \times (450)^2 = 5042.5 \text{ J}$$

$$W_f = E_2 - E_1 = 5042.5 - 54250.8 = -51188.3 \text{ J}$$

$$\rightarrow W_{mg} = +mg\Delta h = 5 \times 10^{-2} \times 10 \times 1.4 = 0.7 \text{ J}$$

$$E_A = E_B \rightarrow \cancel{K_A} + u_A = K_B + u_B \rightarrow mgh_A = \frac{1}{2} m v_B^2 + mgh_B \rightarrow 10 \times 5 = \frac{1}{2} v_B^2 + 10 \times 3.2$$

جواب ۱۸: الف)

$$50 = \frac{v_B^2}{2} + 32 \rightarrow v_B = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\rightarrow W_{mg_{AC}} = mg\Delta h = 12 \times 10 \times 3 = 360 \text{ J}$$

جواب ۱۹: الف) زیرا در مسیر برگشت مقارن از انرژی آن به دلیل مقاومت هوا تلف خواهد شد و مطمئن خواهیم بود که تا ارتفاع کمی پایین تر از محل رها شدن بالا خواهد آمد.
ب) در این حالت احتمال برخورد با صورت داشتن آموز وجود دارد.

$$m = 450 + 320 = 970 \text{ kg}, \Delta t = 180 \text{ s}, \Delta h = 75 \text{ m}$$

جواب ۲۰:

$$P = \frac{mg\Delta h}{\Delta t} = \frac{970 \times 10 \times 75}{180} \approx 5041.7 \text{ W} \times \frac{1 \text{ hp}}{746 \text{ W}} \approx 6.76 \text{ hp}$$

$$m = 72 \text{ kg}, \Delta t = 90 \text{ s}, \Delta h = 50 \times 30 \text{ cm} = 1500 \text{ cm} = 15 \text{ m}$$

جواب ۲۱:

$$P = \frac{mg\Delta h}{\Delta t} = \frac{72 \times 10 \times 15}{90} = 120 \text{ W}$$

سطح دریای آزاد فرستاده می‌شود. اگر بازده هر یک از پمپ‌های این مرکز حدود ۲۸ درصد باشد^۱ توان ورودی هر یک از آنها برحسب مگاوات (MW) و اسب بخار (hp) چقدر است؟ (چگالی مواد نفتی را 860 kg/m^3 بگیرید.)

آورند. شکل زیر یکی از این مراکز را نشان می‌دهد که در ارتفاع 2050 m از سطح دریای آزاد قرار دارد. در این مرکز، در هر ثانیه یک متر مکعب مواد نفتی از طریق لوله‌ای با قطر $32\frac{1}{2}$ اینچ (۸۱/۲ cm) توسط دو دستگاه پمپ (تلمبه) تا ارتفاع 2700 m از



مرکز انتقال نفت گندم‌کار، یکی از ۷ مرکزی است که در مسیر مارون – اصفهان قرار دارد. این مسیر، که طولی برابر ۴۳۱ کیلومتر دارد دومین مسیر سخت و صعب‌العبور خطوط انتقال مواد نفتی در دنیاست.

$$\Delta t = 1 \text{ s}$$

$$\left. \begin{array}{l} h_1 = 2050 \text{ m} \\ h_2 = 2700 \text{ m} \end{array} \right\} \Delta h = 650 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{مغیر}} = \frac{mgh}{\Delta t} = \frac{860 \times 10 \times 650}{1} = 559 \times 10^3 \text{ W}$$

$$\left. \begin{array}{l} \rho = 860 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ v = 1 \text{ m}^3 \end{array} \right\} m = \rho v = 860 \times 1 = 860 \text{ kg}$$

$$\text{درصد} = 28 = \text{بازده}$$

$$\text{بازده} = \frac{P_{\text{مغیر}}}{P_{\text{ک}}} \times 100 \rightarrow 28 = \frac{559 \times 10^3}{P_{\text{ک}}} \times 100 \rightarrow P_{\text{ک}} = 2 \times 10^6 \text{ W}$$

$$\rho = \frac{P_{\text{ک}}}{v} = \frac{2 \times 10^6}{1} = 2 \times 10^6 \text{ W} = 10 \text{ MW} \approx 13 \times 10^3 \text{ hp}$$

۱ - بخش زیادی از انرژی پمپ‌ها، صرف غلبه بر چسبندگی زیاد مواد نفتی با جداره داخلی لوله‌های انتقال می‌شود.