



فصل دوم

کار، انرژی، توان

انرژی جنبشی: انرژی وابسته به حرکت یک جسم را انرژی جنبشی می‌گویند.

$$k = \frac{1}{2}mv^2$$

$\downarrow$  انرژی جنبشی  $J$        $\downarrow$  جرم  $kg$        $\downarrow$  تندی  $m/s$

فرمول مقایسه‌ای:  $\frac{k_2}{k_1} = \frac{m_2}{m_1} \times \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2$

**نکته:** انرژی جنبشی کمیت نرده‌ای و همواره مثبت بوده و به جهت حرکت بستگی ندارد.

۱- انرژی جنبشی جسمی به جرم  $200g$  که با تندی  $72 km/h$  در حال حرکت است چند ژول است؟

۲- اتومبیلی به جرم  $2$  تن با تندی  $36 km/h$  در حال حرکت است. انرژی جنبشی این اتومبیل چند ژول و چند کیلوژول است؟



۳- ماهواره کوچکی به جرم  $200 kg$  با تندی  $30 km/s$  به دور زمین می‌چرخد انرژی جنبشی این ماهواره بر حسب نماد علمی چند مگاژول است؟

۴- جرم جسم  $A$ ، در برابر جرم جسم  $B$  و سرعت جسم  $A$ ، نصف سرعت جسم  $B$  می‌باشد. مقدار  $\frac{k_A}{k_B}$  را بیابید.

## مفهوم کار در فیزیک

اگر به جسمی نیرو وارد شود و جسم در راستای آن نیرو جابه‌جا شود، آن نیرو کار انجام داده است. اگر جسم در جهت نیروی وارد بر آن جابه‌جا شود، آن نیرو باعث افزایش سرعت جسم و در نتیجه افزایش انرژی جنبشی جسم می‌شود و اگر جسم در خلاف جهت نیروی وارد بر آن جابه‌جا شود، آن نیرو باعث کاهش سرعت جسم و در نتیجه کاهش انرژی جنبشی جسم می‌شود. به عبارت دیگر نیروی وارد بر جسم هنگامی کار انجام می‌دهد که باعث تغییر انرژی جنبشی جسم شود. اگر جابه‌جایی جسم در راستای نیرو نباشد و هم‌چنین اگر چند نیرو به جسم وارد شود را کمی جلوتر بررسی خواهیم کرد.

(۱) اگر جسمی به اندازه  $d$  جابه‌جا شود و نیروی ثابت  $F$  در جهت جابه‌جایی جسم به آن وارد شده باشد، کار نیروی  $F$  در این جابه‌جایی به این صورت تعریف می‌شود.



$$W = +Fd \quad \text{کار نیروی } F$$

(۲) اگر جسمی به اندازه  $d$  جابه‌جا شود و نیروی ثابت  $F$  در خلاف جهت جابه‌جایی جسم به آن وارد شده باشد، کار نیروی  $F$  در این جابه‌جایی به این صورت تعریف می‌شود.



$$W = -Fd \quad \text{کار نیروی } F$$

(۳) اگر جسمی به اندازه  $d$  جابه‌جا شود و نیروی ثابت  $F$  در راستایی عمود بر جابه‌جایی جسم به آن وارد شده باشد، کار نیروی  $F$  در این جابه‌جایی برابر صفر تعریف می‌شود.



$$W = 0 \quad \text{کار نیروی } F$$

کار یک کمیت نرده‌ای است و یکای آن  $N \cdot M$  است که ژول نامیده می‌شود. این یکا را با نماد  $J$  نمایش می‌دهیم.

## تعریف کار در حالت کلی

فرض کنید مطابق شکل جسمی به اندازه  $d$  جابه‌جا شود و نیروی ثابت  $F$  در جهتی که با جابه‌جایی جسم زاویه  $\theta$  تشکیل می‌دهد به آن وارد شده باشد.



«کار هر نیرو برابر ضرب آن نیرو در جابه‌جایی در راستای آن نیرو تعریف می‌شود.»

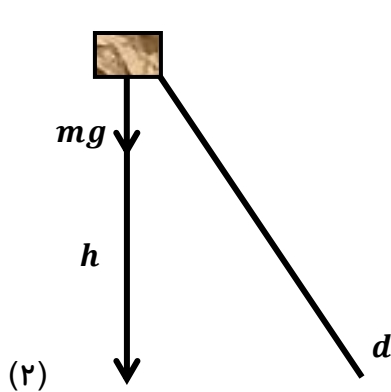
$$W_F = F \cdot d \cdot \cos \theta$$

۵- شخصی با نیروی افقی  $40$  نیوتن در راستای افقی جعبه‌ای را  $50\text{cm}$  جابجا نمی‌کند. کار شخص روی جعبه چقدر است؟

۶- در چه صورت یا صورت‌هایی با اعمال نیرو به یک جسم کار انجام شده صفر خواهد بود؟

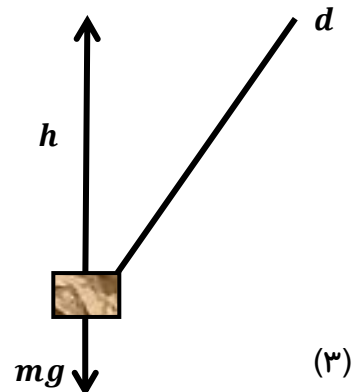
## کار نیروی وزن

برای محاسبه کار نیروی وزن در حالت کلی از تعریف کار استفاده می‌کنیم. کار نیروی وزن برابر است با نیروی وزن ضرب در جابه‌جایی در راستای نیروی وزن. راستای نیروی وزن راستای قائم است و طبق شکل‌های زیر جابه‌جایی در راستای قائم برابر تغییر ارتفاع است.



اگر جسم پایین برود

تغییر ارتفاع جسم و در نتیجه جابه‌جایی در راستای نیروی وزن صفر است. بنابراین کار نیروی وزن صفر است.



اگر جسم در راستای افقی جابه‌جا شود:  
اگر جسم بالا برود

اگر ارتفاع جسم به اندازه  $h$  کاهش یابد (جسم پایین بیاید):

جابه‌جایی جسم در راستای وزن (راستای قائم) برابر  $h$  و هم‌جهت با نیروی وزن است.

$$\Rightarrow W_{mg} = +mgh$$

که البته این کار برابر با تغییر انرژی پتانسیل گرانشی جسم نیز می‌باشد. (با فرض این که سطح زمین دارای پتانسیل صفر گرانشی است)

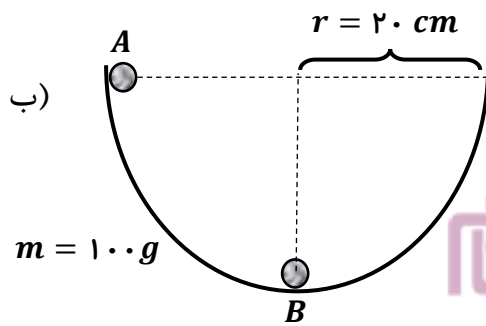
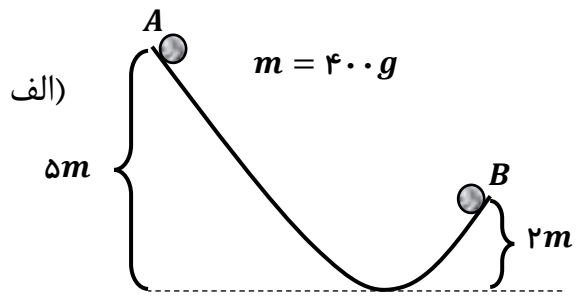
اگر ارتفاع جسم به اندازه  $h$  افزایش یابد (جسم بالا برود):

جابه‌جایی جسم در راستای وزن (راستای قائم) برابر  $h$  و در خلاف جهت نیروی وزن است.

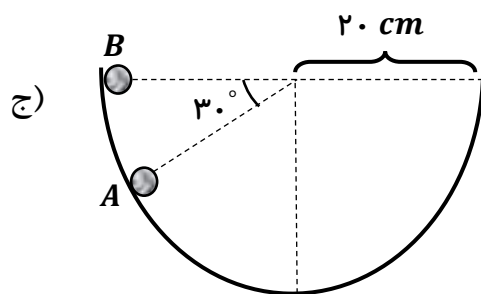
$$\Rightarrow W_{mg} = -mgh$$

که البته این کار برابر با تغییر انرژی پتانسیل گرانشی جسم نیز می‌باشد. (با فرض این که سطح زمین دارای پتانسیل صفر گرانشی است).

۷- در شکل‌های زیر کار نیروی وزن را در جابجایی از  $A$  تا  $B$  به دست آورید.

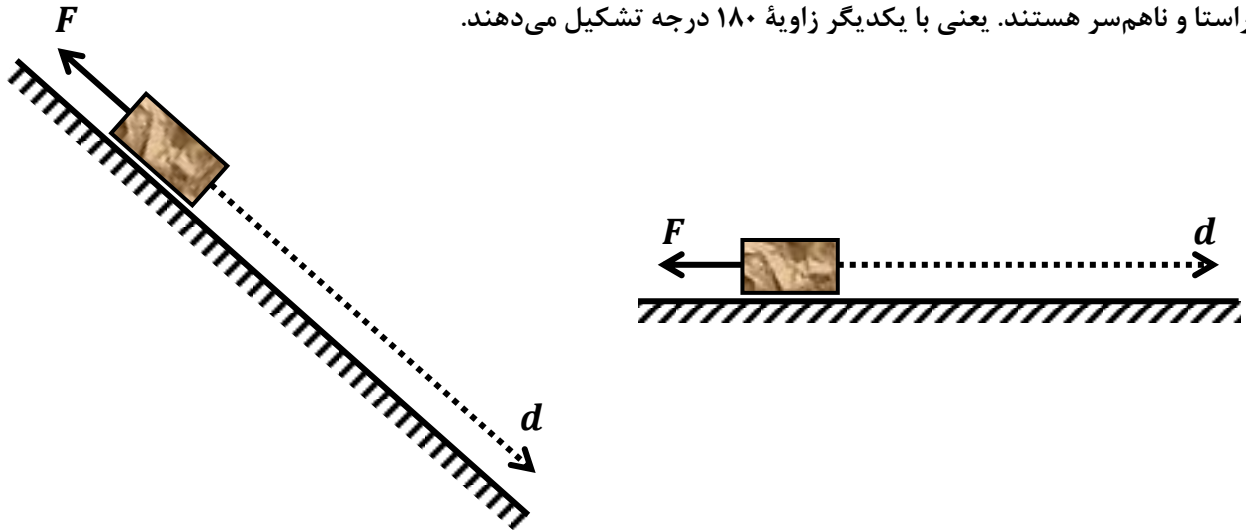


مکتبستان  
انتخابیست



## کار نیروی اصطکاک

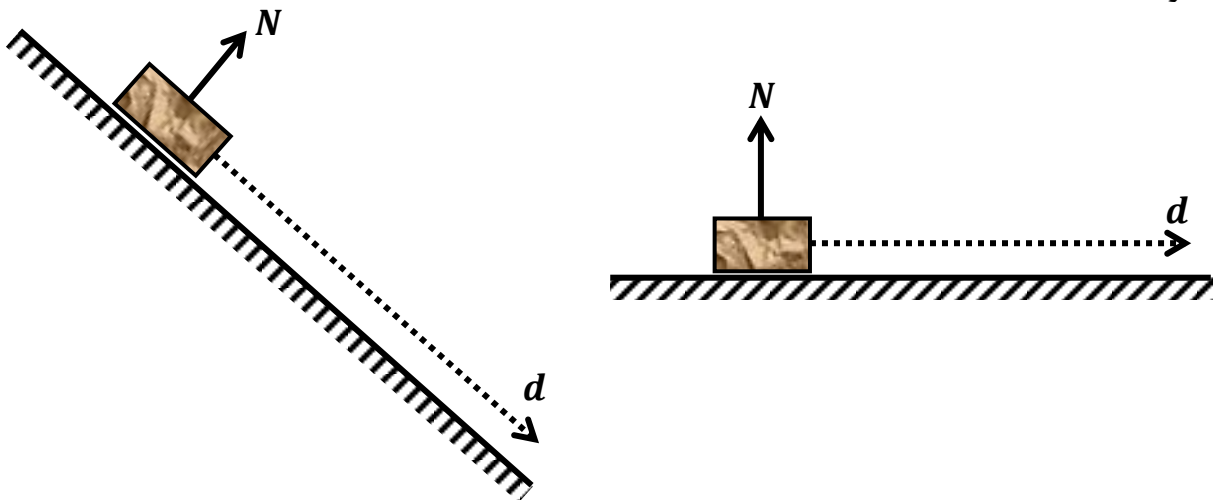
به شکل‌های زیر توجه کنید که در آن اجسام روی سطح افقی و سطح شیب‌دار به اندازه  $d$  جابه‌جا می‌شوند. اگر سطح افقی و سطح شیب‌دار ساکن باشند، اجسام تنها در راستای سطوح جابه‌جا می‌شوند و بردار جابه‌جایی اجسام و نیروی اصطکاک هم‌راستا و ناهم‌سر هستند. یعنی با یکدیگر زاویه  $180^\circ$  درجه تشکیل می‌دهند.



در هر دو حالت 
$$\begin{cases} W_f = fd \cos \theta \\ \theta = 180^\circ \end{cases} \Rightarrow W_f = -fd$$

## کار نیروی عمودی سطح در دو حالت خاص

به شکل‌های زیر توجه کنید که در آن اجسام روی سطح افقی و سطح شیب‌دار به اندازه  $d$  جابه‌جا می‌شوند. اگر سطح افقی و سطح شیب‌دار ساکن باشند، اجسام تنها در راستای سطوح جابه‌جا می‌شوند و نیروی عمودی سطح بر بردار جابه‌جایی اجسام عمود است. یعنی جابه‌جایی اجسام در راستای عمود بر سطح صفر است. بنابراین کار نیروی عمودی سطح در جابه‌جایی اجسام صفر است.



$$\vec{N} \perp \vec{d} \Rightarrow W_N = 0$$

۸- جسمی به جرم  $2\text{ kg}$  روی سطح افقی و بدون اصطکاک قرار دارد و نیروی ثابت  $\vec{F} = 24\vec{i} + 10\vec{j}$  در  $SI$  به آن وارد می‌شود. اگر جسم در جهت محور  $x$  به اندازه  $8\text{ m}$  جابه‌جا شود، کار نیروی  $F$  در این جابه‌جایی چند ژول است؟

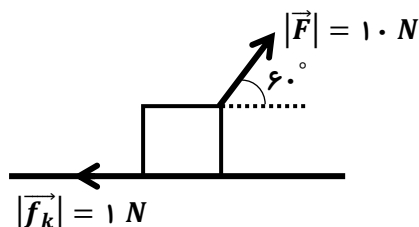
۱۶۸ (۴)

۲۷۲ (۳)

۲۰۸ (۲)

۱۹۲ (۱)

۹- مطابق شکل زیر، وزنه‌ای یک کیلوگرمی روی سطح افقی تحت اثر نیروی  $\vec{F}$  به اندازه  $10$  متر جابه‌جا می‌شود. کار کل انجام شده روی جسم در این جابه‌جایی چند ژول است؟



۲۰ (۱)

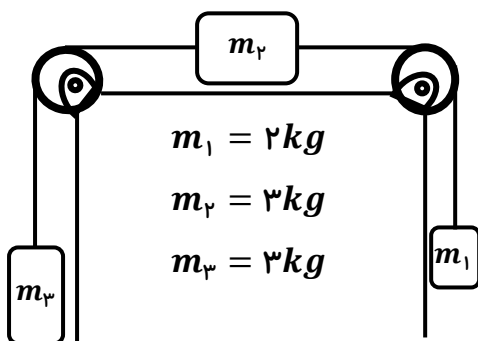
۳۰ (۲)

۴۰ (۳)

۵۰ (۴)

مکتبستان  
انتخاب‌بست

۱۰- مطابق شکل، سه جسم با طناب به یکدیگر متصل‌اند و جرم  $m_3$  به اندازه  $40\text{ cm}$  به طرف پایین حرکت می‌کند. کار نیروی وزن هر جسم در این جابه‌جایی کدام است؟



$$m_1 = 2\text{ kg}$$

$$m_2 = 3\text{ kg}$$

$$m_3 = 3\text{ kg}$$

$$W_3 = 12\text{ J}, W_2 = +8\text{ J}, W_1 = -8\text{ J} \quad (1)$$

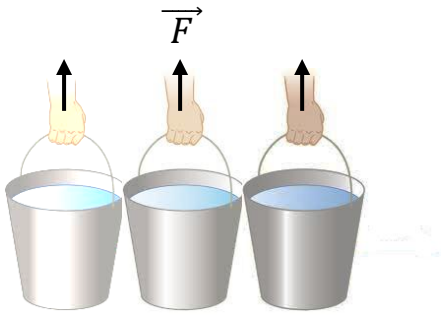
$$W_3 = 1200\text{ J}, W_2 = +800\text{ J}, W_1 = -800\text{ J} \quad (2)$$

$$W_3 = 12\text{ J}, W_2 = 0, W_1 = -8\text{ J} \quad (3)$$

$$W_3 = 1200\text{ J}, W_2 = 0, W_1 = -800\text{ J} \quad (4)$$



۱۱- فردی مطابق شکل سطل آبی به جرم  $4\text{ kg}$  را به اندازه  $10$  متر به صورت افقی جابه‌جا می‌کند. کار نیروی وزن آب در این جابه‌جایی چه قدر است؟



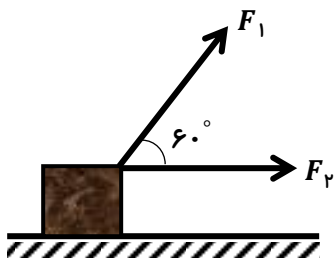
(۱) صفر

(۲)  $4\text{ J}$

(۳)  $40\text{ J}$

(۴)  $400\text{ J}$

۱۲- مطابق شکل، دو نیروی هم اندازه  $F_1 = F_2 = 10\text{ N}$  به جسمی به جرم  $4\text{ kg}$  اثر می‌کنند و آن را روی سطح افق به اندازه  $20$  سانتی‌متر جابه‌جا می‌کنند. کار کل انجام شده توسط این دو نیرو چند ژول است؟



(۱)  $2\sqrt{2}$

(۲)  $200\sqrt{2}$

(۳) ۳

(۴) ۳۰۰

## مجموع کارهای انجام شده روی جسم و کار برآیند نیروها

کار برآیند نیروهای وارد بر جسم را همواره می‌توان با جمع کردن کار هر یک از نیروهای وارد بر جسم به دست آورد. یعنی کار برآیند نیروها با مجموع کارهای انجام شده روی جسم برابر است.

$$W_T = W_F + W_{mg} + W_{fk} + \dots$$

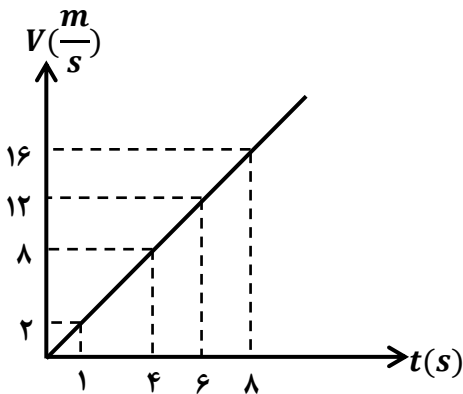
### قضیه کار و انرژی

کار برآیند نیروهای وارد بر جسم در یک جابجایی برابر است با تغییرات انرژی جنبشی جسم در همان جابجایی.

$$W_T = \Delta K$$

۱۳- نمودار تندی بر حسب زمان، برای جسمی به جرم  $4 \text{ kg}$  مطابق شکل زیر است. کار نیروی خالص وارد بر این جسم از

لحظه  $t_1 = 4 \text{ s}$  تا لحظه  $t_2 = 8 \text{ s}$  ژند ژول است؟



مکتبستا  
انتخاب‌چست

۶۴ (۱)

۲۵۶ (۲)

۳۸۴ (۳)

۴۰۰ (۴)

۱۴- مطابق شکل، جسمی به جرم  $2 \text{ kg}$  در یک مسیر مستقیم افقی، از حال سکون، شروع به حرکت می‌کند و تندی آن طی جابه‌جایی  $1/6 \text{ m}$ ، به  $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  می‌رسد. در راستای افقی تنها دو نیروی  $F$  و  $f_k$  به جسم وارد می‌شود. اگر کار نیروی  $F$  در این جابه‌جایی برابر  $22/4 \text{ J}$  باشد، اندازه نیروی اصطکاک چند نیوتن خواهد بود؟



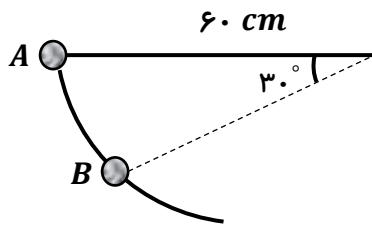
۴ (۴)

۳ (۳)

۲ (۲)

۱ (۱)

۱۵- توپی به جرم  $1\text{ kg}$  از نقطه  $A$  از حال سکون رها شده و به نقطه  $B$  می‌رسد. اگر تندی جسم در نقطه  $B$ ،  $\frac{2}{5}\text{ m}$  باشد، بزرگی کار نیروی اصطکاک مسیر چند ژول است؟  $(g = 10 \frac{N}{kg})$



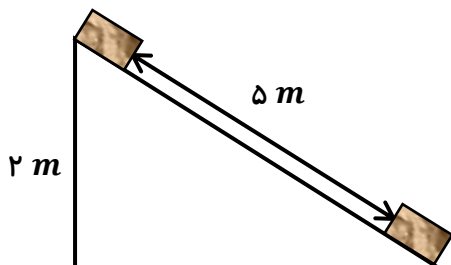
- (۱)  $1/0$   
 (۲)  $-1/0$   
 (۳)  $2/0$   
 (۴)  $-2/0$

۱۶- جسمی با تندی  $10 \frac{m}{s}$ ، در راستای قائم به سمت زمین پرتاب می‌شود. اگر اندازه کار نیروی وزن و اندازه کار نیروی مقاومت هوا، از لحظه پرتاب تا رسیدن به زمین به ترتیب  $48\text{ J}$  و  $18\text{ J}$  و انرژی جنبشی در لحظه پرتاب  $10\text{ J}$  باشد، جرم جسم و تندی آن در لحظه برخورد با زمین چقدر است؟

مکتبستان  
 کتابچست

- (۱)  $20 \frac{m}{s}$ ،  $200\text{ g}$   
 (۲)  $10\sqrt{6} \frac{m}{s}$ ،  $200\text{ g}$   
 (۳)  $4\sqrt{10} \frac{m}{s}$ ،  $500\text{ g}$   
 (۴)  $4\sqrt{15} \frac{m}{s}$ ،  $500\text{ g}$

۱۷- جسمی به جرم  $2\text{ kg}$  مطابق شکل از ارتفاع  $2$  متری روی سطح شیب‌دار شروع به حرکت می‌کند. اگر در طی مسیر، نیروی اصطکاک  $4\text{ N}$  به آن وارد شود، تندی آن در پایین سطح شیب‌دار، چند متر بر ثانیه خواهد شد؟



- (۱)  $5\sqrt{2}$   
 (۲)  $4$   
 (۳)  $2\sqrt{5}$   
 (۴)  $2$