

**انرژی:**

انرژی یک بنیان اصلی است که در تمام اجسام، مواد و پدیده ها وجود دارد.

انرژی دارای انواع مختلفی می باشد که می تواند از نوعی به نوع دیگر تبدیل شده و همچنین از جسمی به جسم دیگر انتقال یابد و در کل این فرآیندها مقدار کل آن ثابت و پایسته می ماند و هرگز از بین نرفته و خلق نمی شود.

\* به ساده ترین بیان می توان گفت انرژی همان توانایی انجام کار است.

نکته: کار صورتی از انرژی است که می تواند به هریک از صورتهای دیگر انرژی تبدیل شده و یا هریک از انرژی ها می توانند به کار تبدیل شوند.

**انواع انرژی:**

انرژی را می توان به صورت کلی به دو دسته تقسیم نمود:

- ۱- انرژی جنبشی (حرکتی)      ۲- انرژی پتانسیل (ذخیره شده)

**انرژی جنبشی (حرکتی):**

انرژی وابسته به حرکت یک جسم را انرژی حرکتی یا انرژی جنبشی گویند.

مثل انرژی توپ در حال حرکت، پره پنکه روشن، چکش متحرک و انرژی گرمایی و انرژی صوتی و.....

رابطه ی انرژی جنبشی جسمی به جرم  $m$  که با تندی  $v$  حرکت می کند عبارت است:

$$k = \frac{1}{2} m v^2$$

$$g \xrightarrow{\div 1000} kg$$

$$ton \xrightarrow{\times 1000} kg$$

$$\frac{km}{h} \xrightarrow{\div 3/6} \frac{m}{s}$$

$$kJ \xrightarrow{\times 1000} J$$

$m$  جرم جسم بر حسب کیلوگرم ( $kg$ ) است.

$v$  تندی جسم بر حسب متر بر ثانیه ( $\frac{m}{s}$ ) است.

$k$  انرژی جنبشی جسم بر حسب ژول ( $J = \frac{kgm^2}{s^2}$ ) است.

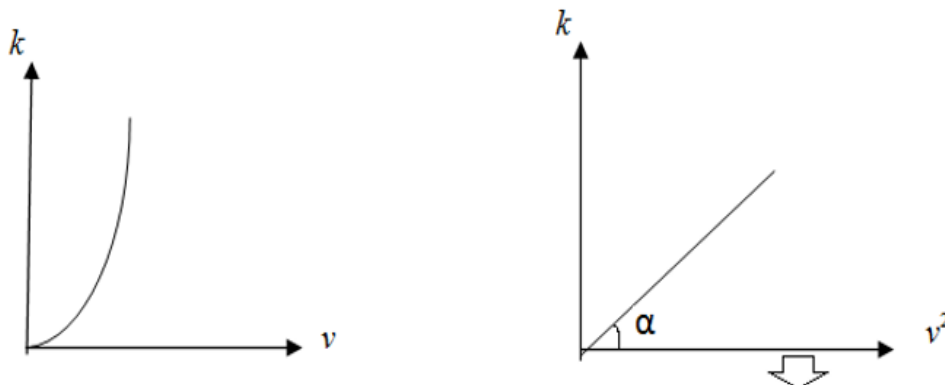
نکات مهم:

- ۱- هرچه جسمی تندتر حرکت کند، انرژی جنبشی بیشتری دارد و هنگامی که جسم ساکن باشد، انرژی جنبشی آن صفر است.
- ۲- انرژی جنبشی کمیته نرده ای و همواره مثبت است.
- ۳- انرژی جنبشی تنها به جرم جسم و تندی جسم بستگی دارد.
- ۴- انرژی جنبشی جسم به جهت حرکت جسم بستگی ندارد.

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{m_2}{m_1} \times \frac{v_2^2}{v_1^2}$$

رابطه ی مقایسه ای انرژی جنبشی:

نمودار انرژی جنبشی:



در این نمودار شیب خط برابر است با نصف جرم جسم  $\tan \alpha = \frac{1}{2}m$  شیب خط

توجه: درصد تغییرات انرژی

$$\text{درصد تغییرات} = \left( \frac{K_2}{K_1} - 1 \right) \times 100\%$$

یادآوری مفاهیم و فرمول های مورد نیاز:

نیرو F: اثر متقابل دو جسم برهم را نیرو گویند. اثر متقابل دو جسم می تواند ناشی از تماس دو جسم باشد مثل ماشینی را هل می

دهیم و..... و یا اینکه دو جسم از راه دور برهم اثر متقابل داشته باشند مثل نیروی گرانش بین زمین و خورشید و نیروی

مغاطیسی بین آهن و آهن ربا و.....

\*نیروی کمیت برداری است و یکای اندازه گیری آن نیوتون می باشد.

معرفی نیروها:

نیروی وزن W:

نیروی جاذبه ای است که مرکز زمین به اجسامی که در اطراف و بر روی سطح آن قرار دارند وارد می کند و

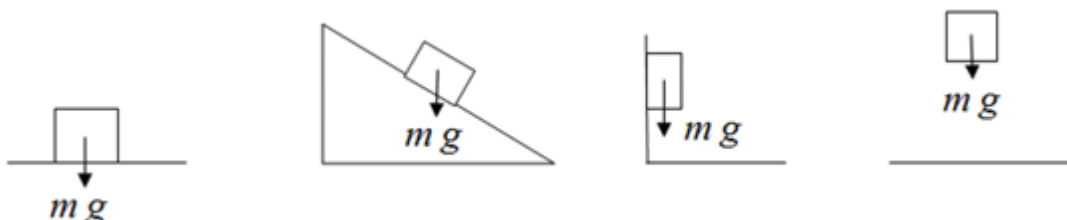
آنها را به سمت خود می کشد

$$W = mg$$

g = 9.8  $\frac{m}{s^2}$  = 10  $\frac{m}{s^2}$  شتاب گرانشی زمین w وزن جسم بر حسب نیوتون m جرم جسم بر حسب kg

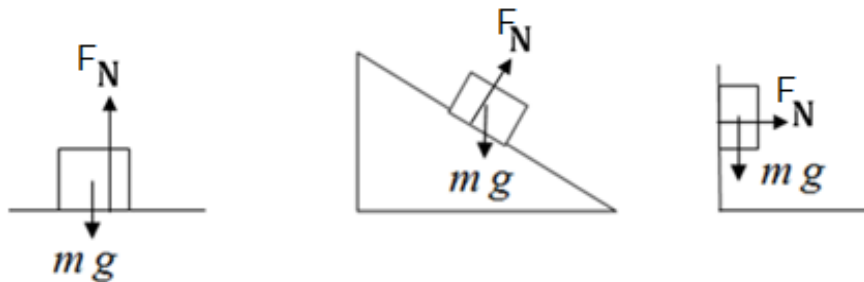
\*جهت نیروی وزن همواره از طرف جسم به سمت مرکز زمین است و نوع قرار گرفتن جسم و یا سطحی که جسم بر روی

آن قرار دارد بستگی ندارد.



### نیروی عمودی تکیه گاه $F_N$ :

هرگاه جسمی بر روی سطحی تکیه می کند از طرف تکیه گاه نیروی عمود بر سطح به جسم وارد می شود که جهت این نیرو از سطح به طرف جسم است.



### نیروی اصطکاک:

به نیرویی که دو سطح، که در تماس با یکدیگر قرار دارند به هم وارد می کنند نیروی اصطکاک می گویند. نیروی اصطکاک در برابر حرکت جسم مقاومت می کند و مانع از حرکت دو سطح بر روی یکدیگر می شود.

\*نیروی اصطکاک را می توانیم بر سه نوع زیر بیان کنیم.

#### ۱-نیروی اصطکاک ایستایی ( $f_s$ ):

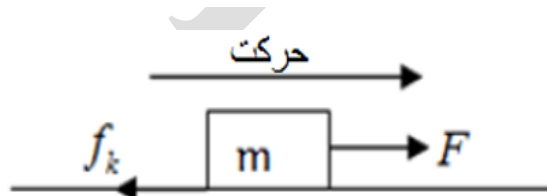
هرگاه جسمی را با نیروی بکشیم یا هل دهیم ولی جسم ساکن بماند نیروی اصطکاک ایستایی است. و مقدار آن با نیروی کشش برابر است.

#### ۲-نیروی اصطکاک آستانه حرکت (لغزشی) ( $f_{smax}$ ):

نیروی اصطکاک لغزشی هنگامی به وجود می آید که جسم در آستانه حرکت قرار می گیرد ولی حرکت نمی کند. و با نیروی وارد بر جسم برابر است.  $F = f_{smax}$

#### ۳-نیروی اصطکاک جنبشی ( $f_k$ ):

هرگاه جسمی که بر روی سطحی قرار دارد بکشیم یا هل دهیم و جسم حرکت کند نیروی اصطکاک از نوع جنبشی است.



قانون دوم نیوتون:

هرگاه بر جسمی نیرو یا نیروهایی اثر کنند، آنگاه جسم در جهت برآیند نیروها شتاب می گیرد که این شتاب با برآیند نیروهای وارد بر جسم رابطه ی مستقیم و با جرم آن رابطه ی عکس دارد.

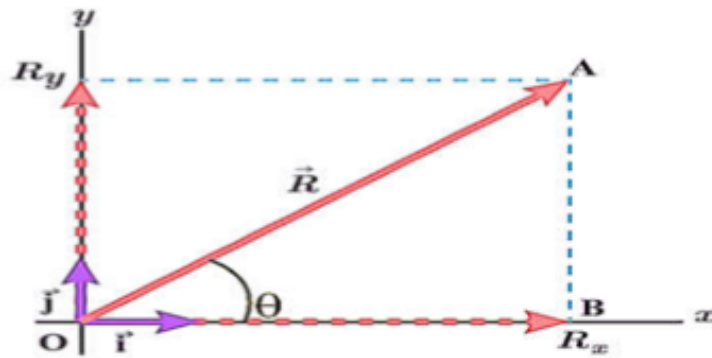
$$a = \frac{F}{m} \Rightarrow F = m a$$

برآیند نیروها
شتاب

یک نیوتون برابر مقدار نیرویی است که هرگاه بر جسمی به جرم  $1\text{ kg}$  اثر کند به آن شتابی به اندازه  $1\text{ متر بر مجذور ثانیه}$  می دهد

$$1\text{ N} = 1\text{ kg} \times 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

«هرگاه نیروی با امتداد افق زاویه ای بسازد آن را به دو بردار عمود برهم تجزیه می کنیم.  
تجزیه یک بردار (نوشتن یک بردار بر حسب بردارهای یکه  $\hat{i}$  و  $\hat{j}$ ):



$$\vec{R} = R_x \vec{i} + R_y \vec{j}$$

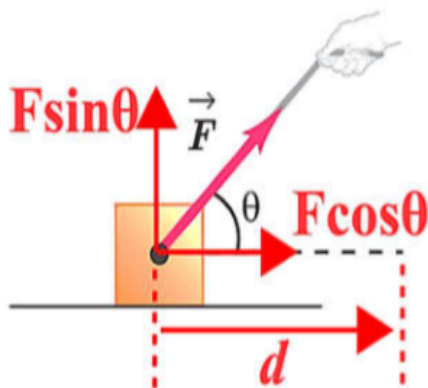
$$\cos \theta = \frac{R_x}{R} \Rightarrow R_x = R \cos \theta \quad , \quad \sin \theta = \frac{R_y}{R} \Rightarrow R_y = R \sin \theta$$

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad \text{اندازه بردار } R$$

پس می توان یک بردار را بر حسب توابع مثلثاتی سینوس و کسینوس نوشت:

$$\vec{R} = (R \cos \theta) \vec{i} + (R \sin \theta) \vec{j}$$

اگر جسمی را مطابق شکل با نیروی  $\vec{F}$  بکشیم، مولفه افقی نیرو (تصویر  $\vec{F}$  روی محور  $x$  ها) و مولفه قائم (تصویر  $\vec{F}$  روی محور  $y$  ها) به صورت زیر نوشته می شود



$$\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y = F_x \vec{i} + F_y \vec{j} = \underbrace{(|\vec{F}| \cos \theta)}_{F_x} \vec{i} + \underbrace{(|\vec{F}| \sin \theta)}_{F_y} \vec{j}$$

$$\Rightarrow \vec{F} = (F \cos \theta) \vec{i} + (F \sin \theta) \vec{j}$$

جدول مثلثاتی

$\theta$	۰	۳۰	۳۷	۴۵	۵۳	۶۰	۹۰	۱۲۰	۱۵۰	۱۸۰	۳۶۰
$\sin \theta$	۰	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	۱	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{2}$	۰	۰
$\cos \theta$	۱	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	۰	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	-۱	۱

## کار انجام شده توسط نیروی ثابت

تعریف کار  $W$ :

اگر به جسمی نیروی  $\vec{F}$  وارد شود و این جسم به اندازه  $d$  در جهت نیروی اعمال شده جابجا گردد کار انجام شده روی جسم به صورت زیر تعریف خواهد شد.



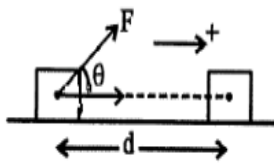
$$W = Fd$$

\* کاریک کمیت نرده ای است و یکای آن در si، ژول یا N.m می باشد

تعریف یک ژول: مقدار کاری است که یک نیرو به اندازه یک نیوتون می تواند جابجایی به اندازه یک متر انجام دهد

$$1j = 1N \cdot 1m$$

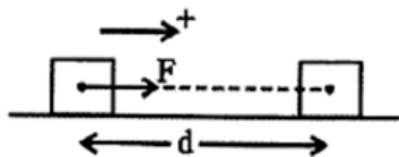
## محاسبه کار در حالت کلی



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

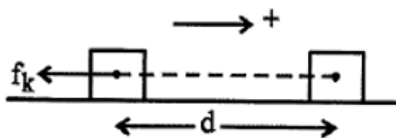
نکته: با توجه به رابطه  $W = Fd \cos \theta$  خواهیم داشت:

۱- هرگاه جابجایی در جهت نیروی وارد بر جسم باشد آنگاه:



$$\theta = 0 \Rightarrow \cos \theta = 1 \Rightarrow W_F = Fd$$

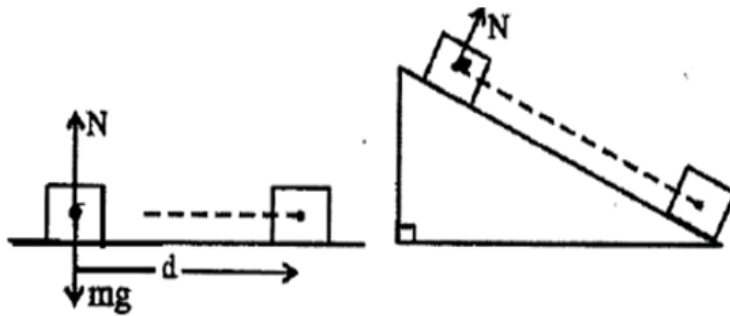
۲- هرگاه جابجایی در خلاف جهت نیروی وارد بر جسم باشد آنگاه:



$$W_f = f_k d \cos \theta = f_k d \cos 180^\circ \xrightarrow{\cos 180^\circ = -1} W_f = -f_k d$$

مثل کار نیروی اصطکاک

۳- هرگاه نیروی وارد شده بر جسم بر راستای جابجایی عمود باشد آنگاه کار انجام شده توسط آن نیرو برابر صفر است یعنی آن نیرو کار انجام نمی دهد. مثل کار نیروی عمودی سطح و نیروی وزن در جابجایی افقی



$$\theta = 90 \Rightarrow \cos \theta = 0 \Rightarrow W = 0$$

نکته: با توجه به موارد ذکر شده می توان گفت کار انجام شده توسط یک نیرو می تواند مثبت، منفی و یا صفر باشد

$$1) 0 \leq \theta \leq 90 \Rightarrow W > 0$$

$$2) 90 < \theta \leq 180 \Rightarrow W < 0$$

$$3) \theta = 90 \Rightarrow W = 0$$

۳۰- در چه صورت هایی کار صفر است؟

۱- بر جسم نیرویی وارد نشود

۲- بر جسم نیرو وارد شود ولی جسم جابجا نشود

۳- نیروی وارد شده عمود بر جسم باشد

**محاسبه کار کل  $W_t$ :** اگر به جای یک نیرو چند نیرو بر جسمی وارد شود و جسم جابجا شود کار کل را می توان از روشهای

زیر حساب کرد:

۱- کار انجام شده توسط هر نیرو را جداگانه حساب کرده، جمع جبری کار انجام شده توسط تک تک نیروها کار کل می باشد.

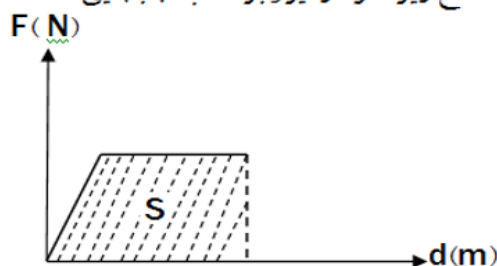
$$W_t = W_1 + W_2 + \dots$$

۲- ابتدا مولفه در امتداد جابجایی را برای هر نیرو مشخص می کنیم. آنگاه با توجه به جهت این مولفه ها، اندازه ی نیروی خالص

را، که در امتداد بردار جابجایی است، به دست می آوریم. سرانجام اندازه ی این نیروی خالص را در رابطه ی زیر قرار می دهیم:

$$W_t = F_t d$$

نکته: کار انجام شده توسط یک نیرو یا برآیند نیروها برابر است با مساحت سطح زیر نمودار نیرو بر حسب جابجایی

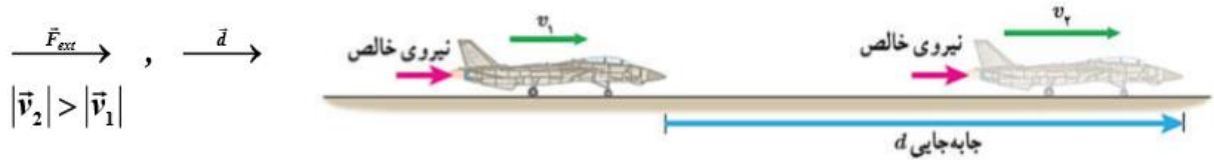


$$W = S$$

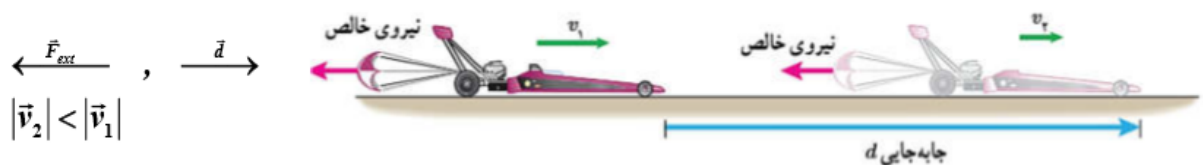
## قضیه کار و انرژی جنبشی

نکته:

اگر نیرو خارجی وارده شده به جسم با جابجایی هم جهت باشد، این نیرو باعث افزایش انرژی جنبشی جسم می شود.



اگر نیرو خارجی وارده شده به جسم در خلاف جهت جابجایی جسم باشد، این نیرو باعث کاهش انرژی جنبشی جسم می شود.



بین کار کل انجام شده روی یک جسم ( $W_T$ ) و تغییرات انرژی جنبشی ( $\Delta K$ ) رابطه ای وجود دارد که به آن **قضیه کار و انرژی جنبشی** می گویند.

**قضیه کار و انرژی:** کار کل انجام شده روی یک جسم با تغییر انرژی جنبشی آن برابر است

$$W_T = K_2 - K_1 \Rightarrow W_T = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2)$$

هنگامی که  $W_T > 0$  است انرژی جنبشی جسم افزایش می یابد (انرژی جنبشی پایانی بزرگ تر از انرژی جنبشی آغازی  $K_1$  است) و جسم در پایان جابه جایی تندتر از آغاز آن حرکت می کند. هنگامی که  $W_T < 0$  است، انرژی جنبشی جسم کاهش می یابد ( $K_2 < K_1$ ) و تندی آن پس از جابه جایی کمتر است. هنگامی که  $W_T = 0$  است انرژی جنبشی جسم در دو نقطه آغازی و پایانی یکسان ( $K_2 = K_1$ ) و تندی آن نیز در این دو نقطه برابر است. توجه کنید که قضیه کار-انرژی جنبشی نه تنها برای حرکت یک جسم روی مسیری مستقیم معتبر است، بلکه اگر جسم روی هر مسیر خمیده ای نیز حرکت کند، می توان از آن استفاده کرد

به این ترتیب، می توان گفت:

وقتی نیروی خالصی به جسمی وارد می شود، اگر کار مثبتی روی جسم انجام دهد به معنای دادن انرژی به آن است و اگر کار منفی روی جسم انجام دهد، به معنای گرفتن انرژی از آن است.

### کار نیروی وزن $W_{mg}$ :

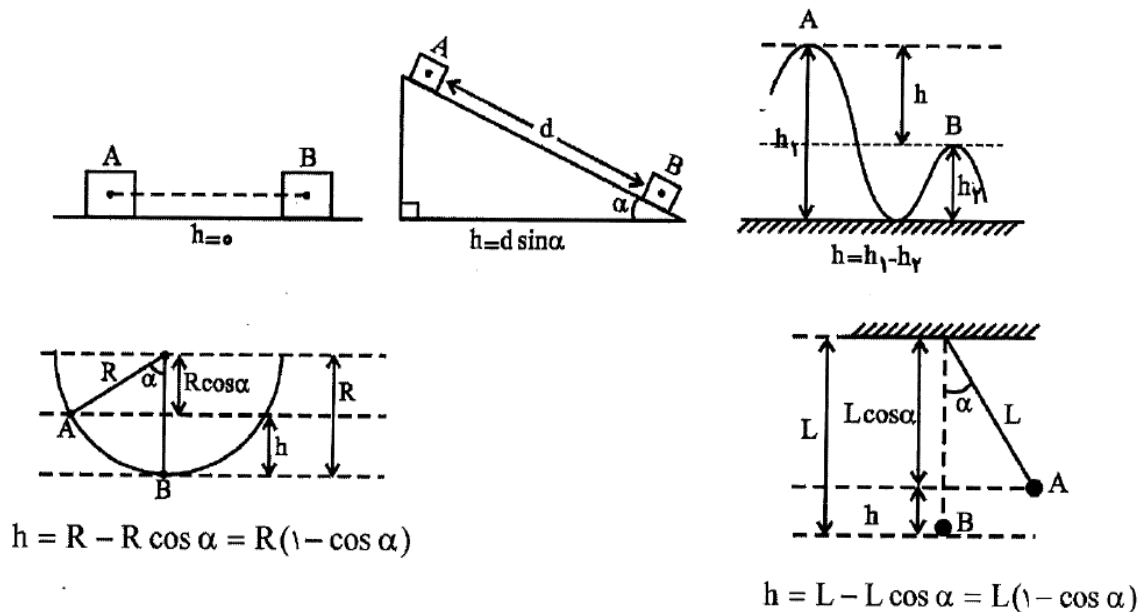
۱- کار نیروی وزن در جابجایی افقی صفر است زیرا نیروی وزن عمود بر جابجایی است.

۲- کار نیروی وزن در جابجایی در راستای قائم از رابطه ی زیر بدست می آید:

$$W_{mg} = \pm mgh$$

کار نیروی وزن به مسیر حرکت جسم بستگی نداشته، بلکه به اندازه ی جابجایی جسم در راستای قائم بستگی دارد. در شکل های

زیر چند نمونه برای محاسبه ی  $h$  آورده شده است. در تمامی شکل ها، جسم به جرم  $m$  از  $A$  تا  $B$  (د) جابجا شده است:

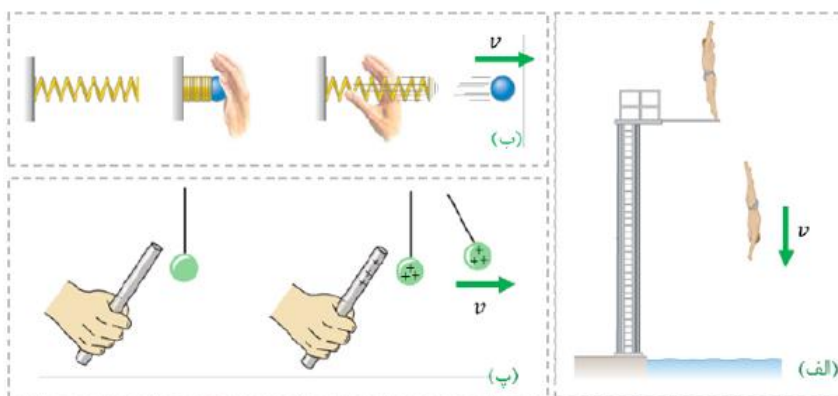


### انواع انرژی پتانسیل (ذخیره شده):

انرژی پتانسیل گرانشی - انرژی پتانسیل کشسانی فنر - انرژی پتانسیل الکتریکی و.....

### کار و انرژی پتانسیل:

انرژی پتانسیل بر خلاف انرژی جنبشی که به حرکت یک جسم وابسته است، ویژگی یک سامانه (دستگاه یا سیستم) است تا ویژگی یک جسم منفرد. به عبارت دیگر، انرژی پتانسیل به مکان اجسام یک سامانه نسبت به یکدیگر بستگی دارد. وقتی انرژی پتانسیل یک



هر سامانه می تواند دست کم از دو جسم یا تعداد بسیار بیشتری از اجسام تشکیل شده باشد. (الف) انرژی پتانسیل گرانشی در سامانه شخص-زمین. (ب) انرژی پتانسیل کشسانی در سامانه گلوله-فنر. (پ) انرژی پتانسیل الکتریکی در سامانه دو جسم باردار.

سامانه کاهش می یابد، به شکل های دیگری از انرژی تبدیل می شود. برای مثال وقتی شخصی از یک تخته ی پرش به درون استخری شیرجه می زند، انرژی پتانسیل سامانه ی شخص - زمین به تدریج به انرژی جنبشی شخص تبدیل می شود و شخص با تندی نسبتاً زیادی با سطح آب برخورد می کند.

### انرژی پتانسیل گرانشی $u$ :

انرژی پتانسیل گرانشی سامانه جسم - زمین برای جسمی به جرم  $m$  که در ارتفاع  $h$  قرار دارد برابر است با:

$$u = mgh$$

$m$  جرم جسم بر حسب  $kg$ ،  $g$  شتاب گرانشی،  $h$  ارتفاع از زمین بر حسب متر،  $u$  انرژی پتانسیل گرانشی بر حسب ژول

\* اگر جسم از ارتفاع  $h_1$  به  $h_2$  نسبت به زمین جابجا شود، تغییر انرژی پتانسیل گرانشی از رابطه زیر محاسبه می شود؟

$$\Delta u = u_2 - u_1 = mgh_2 - mgh_1 = mg(h_2 - h_1)$$

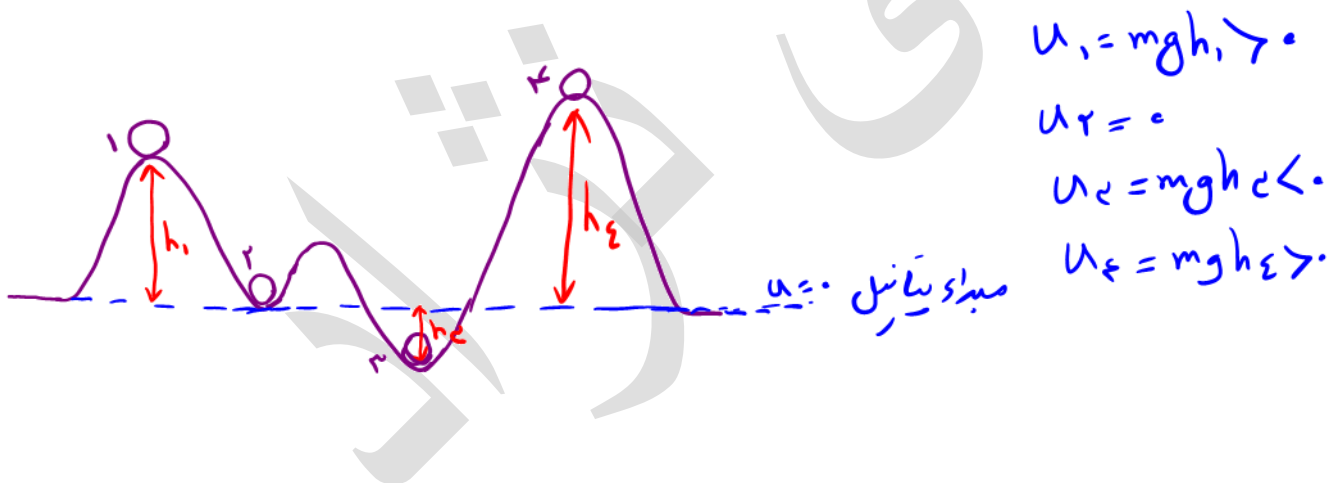
$$\Delta u = mg(h_2 - h_1)$$

نکته: اگر جسم به جرم  $m$  از ارتفاع  $h_1$  به  $h_2$  برسد، کار نیروی وزن برابر با منفی تغییر انرژی پتانسیل گرانشی سامانه جسم - زمین است.

$$W_{mg} = -\Delta u$$

نکته: انرژی پتانسیل را نسبت به یک مبداء می سنجند مبداء پتانسیل اختیاری است.

آنچه در فیزیک اهمیت دارد محاسبه تغییر انرژی پتانسیل است نه محاسبه  $u$  در یک نقطه خاص



### انرژی مکانیکی $E$ :

به مجموع انرژی های جنبشی و پتانسیل انرژی مکانیکی گویند

$$E = K + U \Rightarrow \begin{cases} K = \frac{1}{2}mv^2 \\ U = U_g + U_e \end{cases}$$

پایستگی انرژی مکانیکی: اگر از نیروهای اتلاف کننده انرژی همانند مقاومت هوا و اصطکاک در طول مسیر صرف نظر کنیم

مجموع انرژی های پتانسیل و جنبشی جسم در تمام نقاط مسیر ثابت می باشد یعنی انرژی مکانیکی جسم در تمام نقاط ثابت

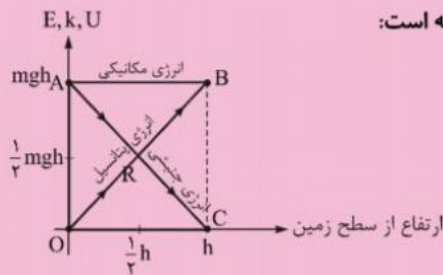
یا پایسته می باشد.

$$E_1 = E_2 = \dots \Rightarrow K_1 + U_1 = K_2 + U_2 = \dots$$

اگر اصطکاک نباشد

$$U_1 - U_2 = K_2 - K_1 \Rightarrow \Delta K = -\Delta U \Rightarrow \Delta K + \Delta U = 0$$

نکته: نمودار تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل برای جسمی که از روی سطح زمین تا ارتفاع  $h$  جابه‌جا می‌شود در شکل مقابل رسم شده است. از روی نمودار پیداست که در حین بالا رفتن انرژی پتانسیل جسم افزایش و انرژی جنبشی آن کاهش می‌یابد ولی مجموع این دو انرژی در طول حرکت پایسته (ثابت) می‌ماند. بنابراین انرژی مکانیکی در طول حرکت پایسته است:



$$E_k = E_p$$

لحظه پرتاب از روی سطح زمین: O, A

لحظه توقف در ارتفاع  $h$  از سطح زمین: B, C

### انرژی درونی:

به مجموع انرژی های ذرات تشکیل دهنده یک جسم، انرژی درونی گویند.

معمولاً با گرم تر شدن یک جسم، انرژی درونی آن بالا می‌رود. انرژی درونی یک جسم، هم به تعداد ذرات جسم و هم به انرژی هر ذره بستگی دارد. به طوری که هرچه تعداد ذرات سازنده یک جسم و انرژی هر ذره آن بیشتر باشد، انرژی درونی آن نیز بیشتر است. چون در حین ترمز گرفتن خودرو، لاستیک‌های آن و سطح جاده گرم تر شده‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که انرژی درونی هر دو افزایش یافته است. در نتیجه می‌توان گفت که در اثر کار نیروی اصطکاک، انرژی جنبشی خودرو به انرژی درونی لاستیک‌های آن و سطح جاده تبدیل شده است.

در این گونه موارد، اصطلاحاً می‌گوییم انرژی تلف شده است. در واقع، همان‌طور که اشاره شد، در این حالت انرژی از بین نرفته است بلکه به انرژی درونی لاستیک‌ها و سطح جاده تبدیل شده است. چون این انرژی را در اغلب موارد و در عمل نمی‌توان دوباره مورد استفاده قرار داد، معمولاً از اصطلاح انرژی تلف شده استفاده می‌شود.

### سامانه منزوی:

به سامانه ای که نه از بیرون انرژی می‌گیرد و نه به بیرون انرژی می‌دهد.

### قانون پایستگی انرژی:

در یک سامانه منزوی، مجموع کل انرژی‌ها پایسته می‌ماند. انرژی را نمی‌توان خلق یا نابود کرد و تنها می‌توان آن را از یک شکل به شکل دیگر تبدیل کرد. این بیان، که براساس آزمایش‌های بسیاری بنا شده است قانون پایستگی انرژی نامیده می‌شود و تاکنون هیچ مورد استثنایی برای آن یافت نشده است.

\* اگر مقاومت هوا یا اصطکاک باشد انرژی مکانیکی جسم ثابت نیست. اختلاف انرژی مکانیکی برابر کار نیروی اصطکاک می‌باشد.

اگر اصطکاک باشد

$$E_2 - E_1 = W_{f_k}$$

$$(K_2 + U_2) - (K_1 + U_1) = W_{f_k} \Rightarrow (K_2 - K_1) + (U_2 - U_1) = W_{f_k}$$

$$\Rightarrow \Delta K + \Delta U = W_{f_k}$$

نکته: اگر در مسائل با اصطکاک انرژی تلف شده به صورت درستی بیان شود

$$E_2 = E_1 + W_{f_k} \Rightarrow (K_2 + U_2) = (K_1 + U_1) + W_{f_k}$$

توان متوسط  $P$ : کار انجام شده در واحد زمان (یا آهنگ انجام کار) را توان متوسط گویند

$$\bar{P} = \frac{W}{\Delta t}$$

\*توان متوسط یک کمیت نرده ای است

$$[W] = \frac{[J]}{[s]} = \frac{[N] \cdot [m]}{[s]} = [N] \cdot \left[\frac{m}{s}\right]$$

واحد توان

✓ یکای توان: {وات (W) یا  $\frac{J}{s}$  یا hp} کمیت: نرده ای

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$$

hp اسب بخار

✓ نکته: اگر وسیله ای در مدت زمان  $t$  جرم به جرم  $m$  را به ارتفاع  $h$  ببرد و سرعت آن را از  $v_1$  به  $v_2$  برساند توان آن برابر خواهد بود با:

$$\bar{P} = \frac{\Delta K + \Delta U + |W_{f_k}|}{t}$$

✓ نکته: اگر نیرو  $F$  بر جرم اثر کند و سرعت آن را از  $v_1$  به  $v_2$  برساند، توان آن برابر خواهد بود با:

$$\bar{P} = F \bar{V} \cos \theta$$

اگر جرم با سرعت ثابت حرکت کند

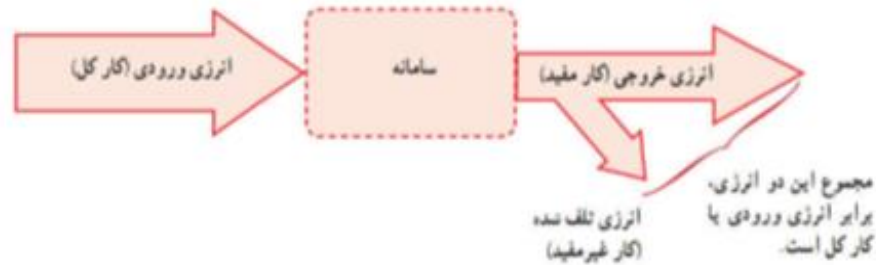
اگر حرکت جرم متساوی التندی باشد

$$\bar{V} = \begin{cases} V \\ \frac{v_1 + v_2}{2} \end{cases}$$

$\bar{V}$  سرعت متوسط

بازده (راندمان - کارایی) :  $Ra$

نسبت انرژی خروجی (توان خروجی، کار مفید) به انرژی ورودی (توان ورودی، کار کل) را بازده گویند  
معمولا بازده هر سامانه را بر حسب درصد بیان می کنند، که همواره کوچکتر از 100 است.



$$Ra \% = \frac{E_{\text{خروجی}}}{E_{\text{ورودی}}} \times 100 \quad Ra \% = \frac{W_{\text{خروجی}}}{W_{\text{ورودی}}} \times 100 \quad Ra \% = \frac{\bar{P}_{\text{خروجی}}}{\bar{P}_{\text{ورودی}}} \times 100$$

✓ توجه:

$\left. \begin{aligned} \text{(انرژی، کار، توان) خروجی} &= \text{(انرژی، کار، توان) مفید} = \text{(انرژی، کار، توان) محاسبه شده} \\ \text{(انرژی، کار، توان) ورودی} &= \text{(انرژی، کار، توان) کل وسیله} = \text{(انرژی، کار، توان) نوشته شده} \end{aligned} \right\}$

نکته بازده پمپ و بازده توربین

بازده توربین:

$$Ra_{\text{توربین}} = \frac{P_{\text{خروجی}}}{P_{\text{ورودی}}} \times 100 \quad Ra = \frac{Pt}{mgh} \times 100$$

بازده پمپ

$$Ra_{\text{پمپ}} = \frac{P_{\text{فیزی}}}{P_{\text{ورودی}}} \times 100 = \frac{mgh}{Pt} \times 100$$

نکته: اگر نیرو و جابجایی معبرت برداشته باشند کار برابر است:

$$\left. \begin{aligned} \vec{F} &= F_x \vec{i} + F_y \vec{j} \\ \vec{d} &= d_x \vec{i} + d_y \vec{j} \end{aligned} \right\} W = F_x d_x + F_y d_y$$

ادبی نژاد

ادبی نژاد

ادبی نژاد