

کار و انرژی

خلاصه فصل

در این فصل دانش آموز با مفهوم کار در فیزیک آشنا می شود. توانایی محاسبه کار انجام شده را در حالت های ساده به دست می آورد.

اهمیت تغییر کار و انرژی را درک می کند و می تواند در حل مسأله ها از آن استفاده کند. مفهوم های انرژی پتانسیل، انرژی جنبشی، پایداری مکانیکی را می آموزد و برخی از کاربردهای آن ها را فرا می گیرد و بالاخره در مورد توان و بازده مطالبی را می آموزد.

دانشته های قبلی

دانش آموز در دوره ی راهنمایی مطالبی درباره ی انواع انرژی یاد گرفته است و با رابطه ی کار و انرژی و توان آشنا شده است. و نیز در سال اول با انواع انرژی، قانون پایداری انرژی استفاده از پایداری مکانیکی در حل مسأله های کاربردی آشناست.

راهنمای تدریس:

ایجاد انگیزه: (رابطه ی کار و انرژی)

قلب انسان به طور متوسط در هر شبانه روز $8m^3$ خون را در رگ ها و مویرگ ها به گردش درمی آورد (شکل ۴-۱). این عضو بسیار شگفت انگیز بدون استراحت تا آخر عمر کار می کند.

کار قلب چیست؟

پاسخ: جابه جایی خون در رگ ها و مویرگ ها چه عاملی قلب را قادر می سازد تا به طور پیوسته کار کند؟

پاسخ: انرژی ای که به طور مدام از مواد غذایی دریافت می کند.

می کند.

۴



نقشه فصلیه - شمال ایران
پیش از ۴۵۰ سال پیش، ایرانیان با نیروی مستحکم انسانی را برای گرداندن که بعضی از آنها به پای ماندن آن را در این تصویر می بینید. این مکان به صورتی خاصه معروف بوده است.

فصل

۴

کار و انرژی

هنگامی که فعالیت های یک روز خود را در نظر می گیرید، مشاهده می کنید که کارهای متفاوتی انجام می دهید. راه می روید، از به بالا می روید، می نوبسید، کیف خود را حمل می کنید. یا انجام این کارها انرژی جنبشی یا پتانسیل گرانشی خود و یا انجماد را کاهش و یا افزایش می دهید و برای انجام آن ها به انرژی نیاز دارید که توسط مواد غذایی تأمین می شود. افراد دیگر نیز به همین ترتیب فعالیت های گردگون دارند. بسیاری از این کارها توسط وسیله های چون تومبل، جراثیل و ... که برای انجام فعالیت های خاصی طراحی شده اند نیز انجام می شوند. این وسیله ها از انرژی الکتریکی، انسانی و یا ... استفاده می کنند. بنابراین، ملاحظه می کنید که همواره در اطراف شما انجام کارهای متفاوت و تبدیل های مختلف انرژی در جریان است. در فزیک (۱) و آزمایشگاه با جدی با مفهوم انرژی و نوع های مختلف آن و تبدیل انرژی ها به یکدیگر آشنا می شوید. در این فصل با مفهوم کار، انرژی مکانیکی و توان آشنا می شوید و تجربه دقیق تری از نوع های مختلف انرژی پتانسیل ارائه می شود.

۱-۱-۱ کار

همواره با افرادی که در حال کار کردن هستند مواجه می شوید. انکار را می بینیم که در حال راه و یا رفه کردن است. در فعالیت های ساختمانی کارگران مصالح ساختمانی را از محلی به محلی دیگر حمل می کنند و ... البته بعضی از کارها توسط ماشین های مخصوص انجام می شوند. در شکل (۱-۱) تعدادی از این فعالیت ها نشان داده شده اند.

۱-۲ فعالیت

تعداد دیگری از کارهای را که در اطراف خود مشاهده می کنید یادداشت و به کلاس گزارش کنید. در انجام این کارها چه عامل های مشترک اند؟ این سؤال را در گروه به بحث بگذارید.



شکل ۴-۱

در مقدمه فصل مثال‌های جالبی برای ورود به مبحث کار و انرژی آورده شده است. می‌توان این مثال‌ها را نیز به صورت پرسش و پاسخ مطرح کرد تا زمینه لازم جهت درک معنای فیزیکی کار فراهم شود.

پرسش: وقتی از پله بالا می‌روید کدام انرژی تغییر می‌کند؟ چگونه تغییر می‌کند؟

پاسخ: انرژی پتانسیل گرانشی افزایش می‌یابد.

پرسش: برای انجام کارهای روزانه انرژی مورد نیاز شما چگونه تأمین می‌شود؟

پاسخ: توسط مواد غذایی

برخی از کارها توسط ماشین‌ها، جرثقیل و... انجام می‌شود.

انرژی مورد نیاز ماشین‌ها نیز از منابع انرژی تأمین می‌شود.

ذکر این نکته ضروری است که در این جا کار مکانیکی مطرح شده است و کار به مفهوم عام مورد نظر نمی‌باشد. این که هنگام درس خواندن، گوش دادن و... اعضای بدن کار انجام می‌دهند و انرژی مصرف می‌کنند کار مکانیکی نیست. شکل (۴-۱) دانش‌آموزان سه تصویر را مشاهده می‌کنند.

الف) شخصی جسمی را از زمین بلند می‌کند.

ب) شخصی جسمی را هل می‌دهد (به حرکت درمی‌آورد).

پ) شخصی جسمی را می‌کشد و راستای جابه‌جایی و

راستای نیرو یکی نیست.

از دانش‌آموزان می‌خواهیم راستای نیروی (نیروهای)

وارد بر جسم و راستای جابه‌جایی را مشخص کنند.

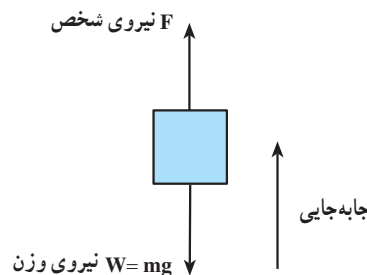
الف) نمودار نیروهای وارد بر جعبه

ب)

پ)



شکل ۴-۳



شکل ۴-۲

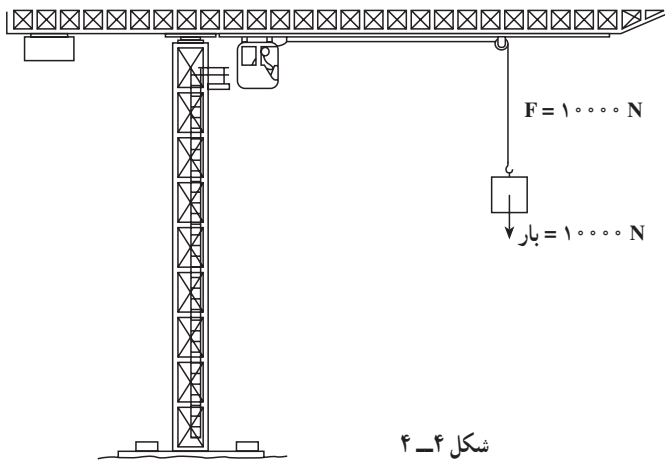
در هر کدام از شکل‌ها تعیین کنید چه نیروهایی کار انجام می‌دهند؟
 الف) نیروی شخص و گرانشی زمین
 ب) نیروی شخص و اصطکاک زمین
 پ) نیروی شخص و اصطکاک زمین

۱- در شکل ۳-۴ الف فرض کنید وزن جعبه W باشد و به اندازه d جابه‌جا شود **حالت ۱** حال اگر دو جعبه (وزن هر کدام W) توسط شخصی به اندازه‌ی d به سمت بالا جابه‌جا شود، کار نیروی گرانی چگونه تغییر می‌کند؟
حالت ۲
 اکنون فرض کنید شخص یک جعبه را به وزن W به اندازه d بالا برد، **حالت ۳** کار نیروی گرانی نسبت به **حالت ۱** چگونه است؟

فعالیت ۴ - ۱

هدف: دانش‌آموز با ذکر چند مورد از کارهای روزمره به عامل‌های مؤثر در انجام کار پی‌برد.
 به‌طور مثال، وقتی کتاب‌های خود را در قفسه‌ها قرار می‌دهد، کاری را که برای قرار دادن یک کتاب در قفسه‌های بالاتر و پایین انجام می‌دهد را مقایسه کند. با این که بستگی کار را با تعداد (وزن) کتاب‌های جابه‌جا شده مقایسه کند.

در شکل ۴-۴ بالابری را مشاهده می‌کنید که از آن برای بالا بردن مصالح ساختمانی استفاده می‌شود. این بالابر بارهایی را از سطح زمین به طبقات بالای ساختمان حمل می‌کند.



وزن (بار)، اندازه جابه‌جایی و نیز سوخت مصرف شده توسط بالا‌پر در ستون‌های جدول زیر داده شده است. جدول را تکمیل کنید و به نتایج به دست آمده به دقت توجه کنید.

شکل ۴-۴

ردیف	بار بر حسب N	جابه‌جایی بر حسب m	مصرف سوخت بر حسب Lit به‌طور تقریب	حاصل ضرب بار (نیرو) در جابه‌جایی
۱	۱۰۰۰	۱۰	۰/۱	
۲	۵۰۰۰	۱۰	۰/۵	
۳	۱۰/۰۰۰	۱۰		
۴	۱۵/۰۰۰	۲۰		
۵	۲۰/۰۰۰	۲۰		

از این جدول چه نتیجه‌ای به دست می‌آید :

مثال ۳-۴
 در شکل ۳-۴ یک کranه را در نظر بگیرید که یک جسمی را از زمین به ارتفاع ۱۰ متر بلند می‌کند. اگر نیروی وارده ۱۰۰۰ نیوتن باشد، کار انجام شده چقدر است؟
 حل: $W = F \cdot d = 1000 \cdot 10 = 10000 \text{ J}$

مثال ۴-۴
 در مثال ۳-۴، اگر جسمی را به ارتفاع ۱۰ متر بلند کردیم، اما نیروی وارده ۲۰۰۰ نیوتن باشد، کار انجام شده چقدر است؟
 حل: $W = F \cdot d = 2000 \cdot 10 = 20000 \text{ J}$

سوخت مصرف شده (که معیاری برای تعیین انرژی مصرفی است) با حاصل ضرب نیرو در جابه‌جایی بستگی دارد.*
 اکنون که زمینه‌ی لازم برای تعریف کار فراهم شده است می‌توان مطابق پاراگراف آخر صفحه ۹۵ کتاب درسی، کار را تعریف کرد.

پرسش: با توجه به تعریف کار، یکای کار را تعریف کنید.
 پاسخ: یکای کار: یکای نیرو (نیوتون) در یکای جابه‌جایی (m) یا N.m است.

سپس با بیان این موضوع که N.m به افتخار فیزیکدان انگلیسی James Prescott Joule (۱۸۸۹-۱۸۱۸ میلادی) ژول (با نماد J) نام‌گذاری شده است، از دانش‌آموزان می‌خواهیم یک ژول را تعریف کنند.

* طرح خطی بودن مصرف سوخت موتور آرمانی است.



تمرین پیشنهادی

با صرف یک ژول کار، جرم ۱ kg را چند متر می توان بالا برد؟

$$W = F \cdot d$$

حل:

نیروی لازم برای بالا کشیدن جسم حداقل باید برابر وزن جسم باشد و $F = mg$

$$1 = 1 \times 9.8 \times d \longrightarrow d = \frac{1}{9.8} \approx 0.102 \text{ m} = 10.2 \text{ cm}$$

پرسش: کار چه نوع کمیتی است؟

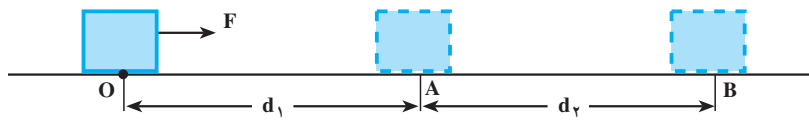
پاسخ: نرده ای

الف) در شکل ۴-۵ کار انجام شده را در مسیرهای d_1 و d_2 محاسبه کنید.

$$W_1 = Fd_1$$

$$W_2 = Fd_2$$

حل:



شکل ۴-۵

ب) کار انجام شده را در کل مسیر OB به دست آورید :

$$W = F (d_1 + d_2) \quad (1)$$

حال مجموع کار انجام شده را در مسیرهای d_1 و d_2 حساب کنید.

$$W = Fd_1 + Fd_2 = F (d_1 + d_2) \quad (2)$$

پرسش: از مقایسه دو رابطه ۱ و ۲ چه نتیجه ای به دست می آید؟

پاسخ: کار انجام شده در چند جابه جایی متوالی را می توان از جمع جبری کارهای انجام شده در تک تک

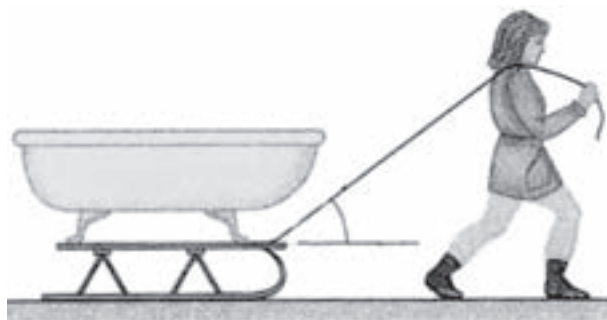
جابه جایی ها به دست آورد.

پرسش: در مورد چه نوع کمیتی جمع جبری به کار می رود؟

پاسخ: کمیت نرده ای

مثال های (۴-۱ و ۴-۲)

هدف این مثال ها به دست آوردن کار انجام شده با استفاده از رابطه $W = F \cdot d$ است.



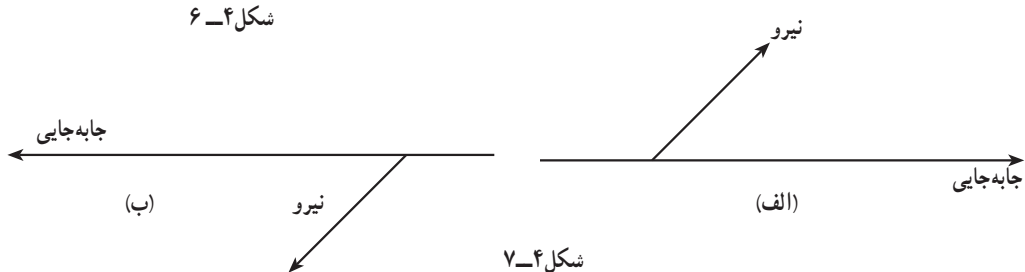
(الف)

در ہر کدام از شکل‌های روبہرو نیرو و راستای جابہ جایی را مشخص کنید.



(ب)

پاسخ:



پرسش: بہ نظر شما رخدادہایی نظیر شکل ۶-۴ الف و ب نشانگر چہ واقعیتی است؟

پاسخ: راستای نیرو و جابہ جایی ہمیشہ بر ہم منطبق نیست.

پرسش: در این حالت‌ها کار انجام شدہ چگونه محاسبہ می‌شود؟ با بیان پاراگراف آخر صفحہ ۹۶ رابطہ‌ی

کار را در حالتی کہ نیروی وارد بہ جسم با بردار جابہ جایی زاویہ θ می‌سازد، بیان می‌کنیم.

پرسش: اگر $\theta = 0^\circ$ رابطہ ۲-۴ بہ چہ صورت درمی‌آید.

پاسخ: $W = F \cdot d \cos 0^\circ = Fd$ کہ همان رابطہ ۱-۴ است.

مثال ۳-۴

هدف: استفادہ از رابطہ ۲-۴ است.

مثال ۴-۴

هدف: محاسبہ کار نیروی گرانشی است.



تمرین پیشنهادی

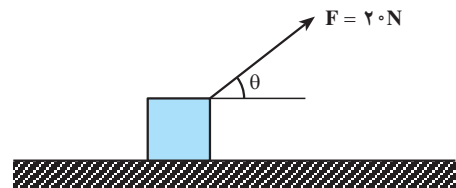
۱- جسمی را مطابق شکل با نیروی $F = 20\text{ N}$ روی سطح افق به اندازه 4 m جابه‌جا می‌کنیم و برای این جابه‌جایی 40° ژول کار انجام صرف می‌شود، زاویه بین نیرو و جابه‌جایی را به دست آورید.

حل:
 $W = F d \cos\theta$

$$\cos\theta = \frac{W}{Fd} = \frac{40}{20 \times 4} = \frac{1}{2}$$

$$\theta = 60^\circ$$

شکل ۴-۸



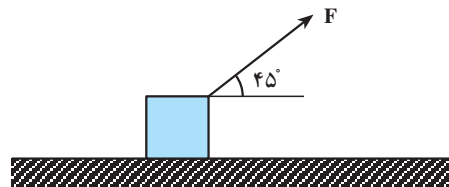
۲- در شکل ۴-۹ با صرف 80 J کار جسم m را 4 m متر جابه‌جا می‌کنیم. نیروی وارد بر جسم چند نیوتون بوده

است؟

حل:
 $W = F d \cos 45^\circ$

$$F = \frac{W}{d \cos 45^\circ} = \frac{80}{4 \times \frac{\sqrt{2}}{2}} = \frac{80}{2\sqrt{2}} = \frac{40}{\sqrt{2}} = 20\sqrt{2}\text{ N}$$

$$F \approx 28\text{ N}$$



شکل ۴-۹

مثال ۴-۵

هدف:

۱- محاسبه کار وقتی دو یا چند نیرو بر جسم اثر می‌کند.

۲- آمادگی لازم جهت درک این واقعیت که می‌توان با جمع کردن کار تک تک نیروها، کار برآیند را به دست آورد.

اگر بر این رابطه - - - - - رابطه (۳-۲) دست می‌آید.

مثال ۳-۴
 در شکل (۳-۲) نیروی 5 نیوتون را تحت زاویه 60° جسمی را جابه‌جا می‌کنیم. کار نیروی F را بر 4 متر جابه‌جایی حساب کنید.
 حل: بر طبق رابطه (۳-۲) داریم:
 $W_F = F d \cos\theta$
 $W_F = 5 \times 4 \times \cos 60^\circ = 2 \times 4 \times \cos 60^\circ = 10\text{ J}$

در مواردی که یکی از یک نیرو به جسم وارد می‌شود، می‌توان کار هر یک از نیروها را از رابطه (۳-۲) دست آورد. به چند مثال در این مورد توجه کنید.

مثال ۳-۴
 جسمی به جرم 20 کیلوگرم را مطابق شکل (۳-۲) عموداً به اندازه 4 متر جابه‌جا می‌کنیم. کار نیروی وزن محاسبه کنید.

حل: در این حالت زاویه بین وزن و جابه‌جایی 180° است. شکل (۳-۲) را در نظر بگیرید و طبق رابطه (۳-۲) داریم:
 $W_{وزن} = -mgd = -20 \times 9.8 \times 4 = -784\text{ J}$
 $W_{وزن} = -784\text{ J}$

مثال ۳-۵
 در مثال (۳-۲) اگر نیروی F عموداً بر جابه‌جایی وارد می‌شود، کار محاسبه کنید.
 حل: زاویه نیروی F و جابه‌جایی عموداً است. شکل (۳-۲) را در نظر بگیرید. کار نیروی F را بر 4 متر جابه‌جایی محاسبه کنید.
 در این حالت زاویه بین نیروی F و جابه‌جایی 90° است. زاویه بین وزن و جابه‌جایی 180° است. بر طبق رابطه (۳-۲) داریم:
 $W_F = F d \cos 90^\circ = 0$
 $W_{وزن} = -mgd = -20 \times 9.8 \times 4 = -784\text{ J}$

بر قسمت (الف) مثال (۳-۲) بگویم که کار نیروی F برابر 10 J است و همان‌طور که در مثال (۳-۲) دیدیم کار نیروی وزن برابر -784 J است. در نتیجه کار و جابه‌جایی را می‌توان با جمع کردن کار هر یک از نیروها به دست آورد. این نتیجه برای یک مثال خاص اثبات شد ولی می‌توان نشان داد که در حالت کلی هم برقرار است.

تمرین ۳-۵
 در شکل (۳-۲) نیروی 10 نیوتون را در امتداد افق به جسمی به جرم 20 کیلوگرم وارد می‌کنیم و آن را از روی سطحی با ضریب اصطکاک جنبشی 0.1 جابه‌جا می‌کنیم. محاسبه کنید کار نیروی F به کار نیروی اصطکاک جنبشی به کار نیروی عمودی تکیه‌گاه است. کار نیروی وزن است. کار برآیند نیروها - ج- نشان دهید که کار برآیند نیروها برای است با جمع جبری کار حاصل از تک تک نیروها.

تمرین پیشنهادی



تعمیم مثال ۴-۵

کار برآیند نیروها وارد بر جسم را در مثال ۴-۴ با مجموع کارهای انجام شده توسط تک تک نیروها مقایسه کنید.

حل: کار نیروی F برابر است با: $W_F = Fh \cos 0^\circ = Fh$

و کار نیروی گرانشی زمین برابر است با: $W_g = mgh \cos 180^\circ = -mgh$

و از آنجا مجموع کارهای انجام شده برابر خواهد بود با:

$$W = W_F + W_g = Fh - mgh = (F - mg)h$$

تمرین پیشنهادی



جسمی به وزن 10 N را با سرعت ثابت با نیروی F به اندازه $m = 10$ بالا می‌بریم
الف) کار نیروی وزن ، ب) کار نیروی F ، پ) کار برآیند نیروها را به دست آورید.

حل:

الف) کار نیروی وزن برابر است با

$$W_g = mgh \cos 180^\circ$$

$$W_g = 10 \times 10 \times (-1) = -100\text{ J}$$

ب) چون سرعت حرکت ثابت است داریم:

$$F - mg = ma = 0$$

$$F = mg = 10\text{ N}$$

و کار نیروی F برابر خواهد بود با:

$$W_F = Fh \cos 0^\circ = 10 \times 10 \times 1 = 100\text{ J}$$

کار نیروی برآیند را می‌توان:

۱- با مجموع کارهای انجام شده توسط تک تک نیروها به دست آورد:

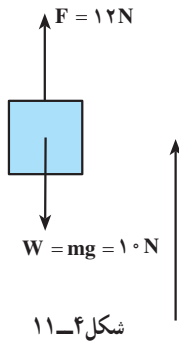
$$W = 100 - 100 = 0$$

۲- می‌توان برآیند نیروها را محاسبه کرد و کار برآیند را به دست آورد:

$$W = 0 \quad \text{برآیند} \quad F_R = ma = 0 \quad \text{برآیند}$$

در این‌جا ممکن است دانش‌آموز تصور کند بلند کردن اجسام، همواره با سرعت ثابت انجام می‌گیرد زیرا در کارهای روزانه ضرورت افزایش انرژی جنبشی در انتهای مسیر پیش نمی‌آید. خوب است با طرح تمرین‌هایی مشابه تمرین‌های زیر حالت‌های دیگر نیز مطرح شود.

تمرین پیشنهادی



شکل ۱۱-۴

جسمی به وزن 10 N را مطابق شکل با نیروی $F=12\text{ N}$ به اندازه 5 m بالا می کشیم. کار انجام شده توسط:

(۱) نیروی گرانشی

(۲) نیروی F

(۳) برآیند نیروها را به دست آورید.

حل: $W_g = mgh \cos 180^\circ = 10 \times 5 \times (-1) = -50\text{ J}$

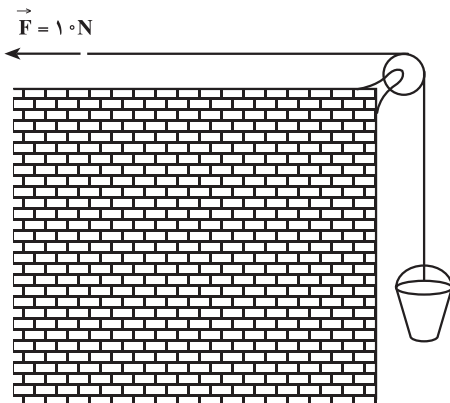
$W_F = Fh \cos 0^\circ = 12 \times 5 \times 1 = 60\text{ J}$

برآیند $W = W_F + W_g = 10\text{ J}$

کار برآیند برابر است با:

و یا $W = 2 \times 5 = 10\text{ J}$ برآیند $F_R = F - mg = 2\text{ N}$

تمرین پیشنهادی



شکل ۱۲-۴

در شکل روبه‌رو سطلی به جرم 5 kg با نیروی 20 N به بالا کشیده می شود. مطلوب است:

(الف) کار نیروی گرانشی

(ب) کار نیروی F

(پ) کار برآیند نیروها

وقتی سطل 4 m پایین می آید.

چون نیروی \vec{F} از وزن جسم کمتر است، جسم به پایین حرکت می کند. بنابراین زاویه‌ی نیروی وزن با بردار جابه‌جایی صفر ولی زاویه‌ی بردار \vec{F} با بردار جابه‌جایی 180° است.

$W_g = mgh \cos 0^\circ = 5 \times 9.8 \times 4 = 196\text{ J}$

$W_F = Fh \cos 180^\circ = 20 \times 4 \times (-1) = -80$

برآیند $W_R = W_g + W_F = 196 - 80 = 116\text{ J}$

هم چنین می توان ابتدا برآیند نیروها و سپس کار آن را محاسبه کرد.

برآیند $F_R = mg - F = 5 \times 9.8 - 20 = 29\text{ N}$

برآیند $W_R = F_R h \cos 0^\circ = 29 \times 4 \times 1 = 116\text{ J}$

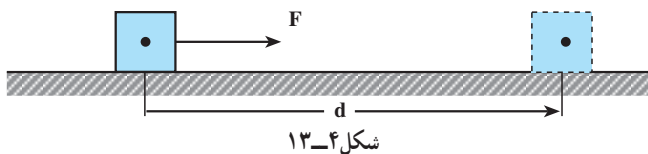
تمرین ۴ - ۱



در این تمرین محاسبه کار نیروی اصطکاک، کار نیروی عمودی، مقایسه کار برآیند نیروها و جمع جبری کارهای انجام شده مورد نظر است.

الف) کار نیروی \vec{F}

$$W_F = Fd \cos 0^\circ = F \cdot d$$



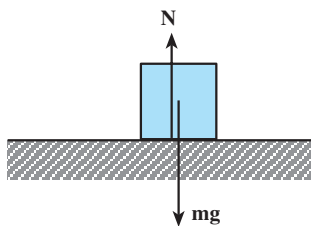
شکل ۴-۱۳

ب) برای محاسبه کار نیروی اصطکاک ابتدا نیروی اصطکاک را به دست می آوریم:

$$N - mg = 0 \Rightarrow N = mg$$

$$f_k = \mu_k N = \mu_k mg$$

$$W_k = f_k d \cos 180^\circ = -\mu_k mg d$$



شکل ۴-۱۴

پ) کار نیروی عمودی تکیه گاه: زاویه نیروی عمودی تکیه گاه با جابه جایی 90° است.

$$W_N = Nd \cos 90^\circ = 0$$

ت) کار نیروی گرانشی: زاویه نیروی وزن با بردار جابه جایی نیز 90° است.

$$W_g = mg d \cos 90^\circ = 0$$

ث) کار برآیند نیروها:

ابتدا برآیند نیروها را حساب می کنیم:

$$F_R = F - f_k = F - \mu_k mg$$

$$W_R = F_R d \cos 0^\circ = (F - \mu_k mg) d$$

و جمع جبری کارهای انجام شده برابر است با:

$$W_T = Fd - \mu_k mg d + 0 + 0 = (F - \mu_k mg)d$$

$$W_T = W_R$$

یعنی:

مثال ۴-۶: در این مثال می‌خواهیم بگوییم:

۱- وقتی جابه‌جایی صفر باشد کاری انجام نمی‌گیرد.

۲- مفهوم کار در فیزیک با مفهوم متعارف کار یکی نیست.

مثال ۴-۷: در این مثال این موضوع گفته می‌شود که

در حالتی که زاویه‌ی بین نیرو و جابه‌جایی 90° باشد، کار انجام شده صفر است*. هم‌چنین مفهوم کار در این جا با معنای کار در گفتگوهای روزانه تفاوت دارد.

هنگامی که شخص سطل را از زمین بلند می‌کند، کار انجام می‌دهد. ولی وقتی جسم در همان موقعیت با سرعت ثابت (افقی) حرکت می‌کند، نیرویی که شخص به سطل وارد می‌کند، بر بردار جابه‌جایی عمود است و کار انجام شده (در مبحث مکانیک) صفر است.

ممکن است دانش‌آموز از روی کنجکاوی این پرسش را مطرح کند. اگر شخص هیچ کاری انجام نمی‌دهد، چه عاملی سبب خستگی شخص می‌شود؟

توضیحاتی که در «دانستنی» زیر می‌خوانید در پاسخ این پرسش راهگشا می‌باشند.

مثال ۴-۶
فرض کنید که شخص در شکل (۴-۶) با یک جسم را به بالا برد و همان‌جا نگاه دارد. او برای نگهداری جسم چه مقدار کار انجام می‌دهد؟
حل: در این حالت شخص برای نگاه داشتن جسم نیرویی برابر با وزن آن به جسم وارد می‌کند. ولی چون جابه‌جایی صفر است، کار او برابر است با $W = Fd = 0 \text{ J}$.
پس، شخص برای نگهداری جسم کاری انجام نمی‌دهد.

مثال ۴-۷
شخصی با سرعت ثابت در حال حرکت است و سطل آبی به همراه 100 N را عموداً سطل (۴-۷) حمل و به اندازه 10 m جابه‌جا می‌کند. او برای حمل سطل چقدر کار انجام می‌دهد؟
حل: شخص برای آن که سطل را نگاه دارد، باید نیرویی برابر با وزن سطل رو به بالا به آن وارد کند. چون سطل با سرعت ثابت حرکت می‌کند، شخص نیرویی در جهت افقی به آن وارد نمی‌کند. زاویه بین نیرو و جابه‌جایی 90° است. در نتیجه $W = Fd \cos 90^\circ = 0 \text{ J}$.



مثال ۴-۸
پس شخص برای حمل سطل، با سرعت ثابت، کاری انجام نمی‌دهد.

مثال‌های (۴-۶) و (۴-۷) نشان می‌دهند کاری را که در فیزیک تعریف می‌شود با مفهوم کاری که در گفت‌وگوهای عادی خود به کار می‌بریم تفاوت دارد. زیرا، در صحبت‌های روزمره فعالیت‌های دگرگنده در مثال‌های بالا را نیز کار می‌نامیم. ولی با تعریفی که برای کار ارائه کردیم، در مثال‌های یاد شده کاری انجام نمی‌شود.

دانستنی



خستگی یک مفهوم مکانیکی نیست. عامل خستگی در این جا کشش عضلانی است که مربوط به واکنش‌های درونی اعضای بدن است.

قبلاً گفته شد کار در مکانیک با مفهوم عام کار تفاوت دارد. حتی کار در فیزیک با کار در مکانیک متفاوت است. کار در فیزیک شامل کار در ترمودینامیک الکتریسیته و مغناطیس و اپتیک می‌باشد. درحالی که کار در مکانیک با رابطه‌ی $\vec{F} \cdot \vec{d}$ تعریف می‌شود.

این که بگوییم «وقتی شخصی جسمی را در دست می‌گیرد و آن را نگهداری می‌کند و یا در راستای افقی حرکت می‌دهد، به طور مطلق هیچ کاری انجام»، نمی‌دهد، درست نیست. زیرا در واقع کار انجام می‌دهد. اما در مکانیک ما تمام اجسام را نقطه‌هایی در نظر می‌گیریم که تمام جرم در این نقطه‌ها متمرکز است. و نیروهای خارجی بر این نقطه‌ها (مرکز جرم) وارد می‌شوند. پس در مکانیک ساختار داخلی اجسام را به حساب نمی‌آوریم. آن‌چه در هنگام انجام کار بدون جابه‌جایی نقطه اثر نیرو انجام می‌شود، تغییر در ساختار درونی بدن ماست که در مبحث مکانیک نمی‌توانیم آن را به حساب آوریم. چون تمام بدن را یک نقطه در نظر گرفتیم بدون این که برای آن ساختاری در نظر داشته باشیم.

* منظور از کار انجام‌شده کار مکانیکی است.

۲-۴- قضیه کار و انرژی

طرح قضیه‌ی کار و انرژی برای درک ارتباط کار انجام شده و تغییر انرژی جنبشی است. کسب مهارت در حل مسأله‌ها با به‌کارگیری این قضیه نیز بسیار اهمیت دارد.

دانسته‌های قبلی: دانش‌آموز در دوره‌ی راهنمایی با مفهوم کار و انرژی آشنا شده است. هم‌چنین مفهوم انرژی جنبشی و محاسبه‌ی آن را فرا گرفته است.

راهنمای تدریس

ایجاد/نگیزه: به شکل ۴-۱۵ توجه کنید. شهاب‌سنگی به سطح زمین برخورد کرده و متوقف شده و گودالی به قطر ۱/۲ km و عمق ۲۰۰ m به وجود آورده است.

به نظر شما:

- ۱- کار چه نیرویی موجب توقف شهاب‌سنگ شده است؟
- ۲- انرژی لازم جهت ایجاد گودال چگونه تأمین شده است؟

پاسخ:

۱- نیروی مقاومت سطح زمین

۲- کار لازم جهت ایجاد گودال از انرژی جنبشی اولیه شهاب‌سنگ تأمین شده است.

پرسش: اگر شهاب‌سنگ به زمین یا جسم دیگری برخورد نمی‌کرد، انرژی جنبشی آن چگونه تغییر می‌کرد؟

پاسخ: در انرژی جنبشی شهاب‌سنگ هیچ تغییری رخ نمی‌داد.

پرسش: از چنین رویدادهایی چه نتیجه‌ای به دست می‌آید؟

پاسخ: وقتی نیرویی بر جسمی اثر می‌کند و کار انجام می‌دهد، انرژی جنبشی جسم تغییر می‌کند.

مثال‌های ذکر شده در مقدمه نیز بسیار مناسب انتخاب شده و زمینه را برای درک مفهوم قضیه کار و انرژی آماده می‌کنند، هم‌چنین می‌توان مثال‌های کمی نیز در این زمینه مطرح کرد.

۲-۴- قضیه کار و انرژی

در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دبیر که انرژی جنبشی جسمی به جرم m و سرعت v با رابطه $K = \frac{1}{2}mv^2$ (۲-۴)

داده می‌شود. هنگامی که نوری را در امتداد قائم به هوا پرتاب می‌کنیم، سرعت نوب رفت‌و برگشت کاهش می‌یابد. در نتیجه، انرژی جنبشی نوب در حین بالا رفتن کاهش می‌یابد. اگر نوب را از حال سکون از یک بلندی رها کنیم، انرژی جنبشی نوب در حین پایین آمدن افزایش می‌یابد. ما روزانه شاهد تغییر انرژی جنبشی اجسام در محیط اطراف خود هستیم. انرژی جنبشی اتومبیلی که ترمز کرده است، کاهش می‌یابد. هنگامی که میخی را به دیوار می‌کوبیم، در حین برخورد چکش به میخ انرژی جنبشی میخ ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد.

فعالیت ۲-۴

مسئله‌های دیگری که در مورد تغییر انرژی جنبشی اجسام اطراف خود می‌بینید را یادداشت و به کلاس گزارش کنید.

قضیه کار و انرژی، رابطه بین کار و تغییر انرژی جنبشی را بیان می‌کند. برای توضیح دادن این قضیه مثال زیر را در نظر بگیرید. جسمی به جرم m را مطابق شکل (۲-۴) در نظر بگیرید که در ابتدا نیروهای وارد بر آن ثابت و برابر F است و جسم تحت تأثیر این نیرو به اندازه s در روی یک سطح افقی جابه‌جا می‌شود.

کار انرژی W رابطه زیر داده می‌شود: $W = Fs$ (۲-۴)

از طرف دیگر چون F برابر نیروهای وارد بر جسم است، داریم $F = ma$ (۲-۴)

در اثر اعمال نیروی F سرعت جسم از مقدار v_1 در نقطه (۱) به مقدار v_2 در نقطه (۲) تغییر می‌کند. با استفاده از رابطه (۲-۴) داریم:

(۲-۴) $\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = F \cdot s$




شکل ۴-۱۵



تمرین پیشنهادی

سنگی به جرم 0.5 kg از ارتفاع 2 m بالای زمین بدون سرعت اولیه رها می‌شود،
مطلوب است:

(الف) سرعت آن در لحظه‌ی رسیدن به زمین

(ب) انرژی جنبشی سنگ در لحظه‌ی رسیدن به زمین

(پ) کار نیروی گرانشی زمین بر روی سنگ

(ت) کار انجام شده توسط نیروی گرانشی زمین را با تغییر انرژی جنبشی سنگ از آغاز حرکت تا رسیدن به زمین با هم مقایسه کنید.

حل:

$$v^2 - v_0^2 = 2gy \longrightarrow v^2 = 2 \times 9.8 \times 2 = 392$$

(الف)

$$v = \sqrt{392} = 19.8 \text{ m/s}$$

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 0.5 \times 392 = 98 \text{ J}$$

(ب)

(پ) کار انجام شده توسط نیروی گرانشی زمین

$$W = mgh \cos 0 = 0.5 \times 9.8 \times 2 = 98 \text{ J}$$

(ت) تغییر انرژی جنبشی جسم برابر است با:

انرژی جنبشی در لحظه‌ی رهایی برابر صفر است.

$$K - K_0 = 98 - 0 = 98 \text{ J}$$

تغییر انرژی جنبشی جسم با کار نیروی گرانشی زمین یک اندازه است.

اکنون با طرح فعالیت (۲-۴) زمینه‌ی لازم برای درک مفهوم قضیه کار و انرژی کامل می‌شود.

فعالیت ۲-۴

هدف: بیان مثال‌هایی است که در آن‌ها انرژی جنبشی جسم تغییر کند. مثال‌ها در مورد تغییر انرژی جنبشی

می‌تواند بسیار متنوع باشد. از جمله:

۱- در هنگام تصادف دو خودرو انرژی جنبشی خودروها تغییر می‌کند. هر قدر تغییر سرعت بیش‌تر باشد آسیب

وارد شده به خودرو نیز بیش‌تر است.

۲- وقتی تیری به ساقه‌ی درخت می‌خورد یا هنگام برخورد تبر با ساقه‌ی درخت تغییر انرژی جنبشی برای تیر

یا تبر رخ می‌دهد.

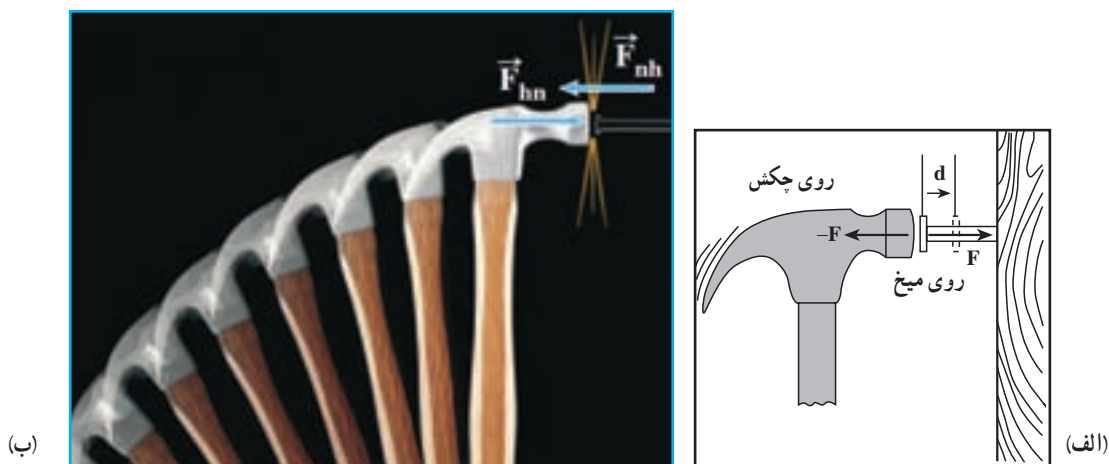
۳- خودرویی که از حال سکون به راه می‌افتد.

۴- سنگی که رو به بالا پرتاب می‌شود و یا از یک بلندی رها می‌شود.

۵- خودرویی که در حال حرکت است ترمز می‌کند.

۶-

به شکل ۱۶-۴ توجه کنید. توضیح دهید هنگام برخورد چکش با میخ چه اتفاقی رخ می‌دهد؟



شکل ۱۶-۴

پاسخ: چکش به میخ برخورد می‌کند. هنگام فرو رفتن میخ در تخته نیروی مقاوم تخته باعث توقف میخ (و چکش) می‌شود. این نیرو کار انجام می‌دهد، کار انجام شده باعث توقف یا تغییر انرژی جنبشی چکش می‌شود.

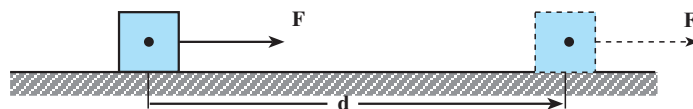
اکنون زمینه‌ی لازم جهت بیان قضیه کار و انرژی فراهم شده است.

ابتدا با بیان این مطلب که رابطه‌ی بین کار و تغییر انرژی را قضیه‌ی کار و انرژی بیان می‌کند، با رسم شکل ۷-۴ کتاب و کمک

دانش‌آموزان به نتیجه مورد نظر می‌رسیم.

۱- جسمی به جرم m را در نظر بگیرید که برآیند نیروهای وارد بر آن ثابت و برابر \vec{F} باشد و جسم تحت تأثیر این نیرو، به اندازه‌ی

d روی سطح افقی جابه‌جا شود و سرعت آن از v_1 به v_2 برسد.



شکل ۱۷-۴

۱- کار انجام شده را محاسبه کنید.

۲- با استفاده از روابط حرکت‌شناسی و قانون دوم نیوتن نشان دهید کار انجام شده برابر تغییر انرژی جنبشی است.

$$W = F d$$

$$v_2^2 - v_1^2 = 2ad$$

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2d}$$

اگر از این رابطه d را بدست آوریم و در رابطه (۳-۳) قرار دهیم، خواهیم داشت:

$$F = ma = m \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2d} \quad (3-3)$$

با قراردادن این رابطه در رابطه (۳-۲) رابطه زیر بدست می آید:

$$W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \quad (3-4)$$

جمله اول طرف راست در این رابطه انرژی جنبشی جسم در نقطه (۲) و جمله دوم انرژی جنبشی جسم در نقطه (۱) است.

در نتیجه اگر این دو انرژی جنبشی را به ترتیب با K_2 و K_1 نشان دهیم، رابطه (۳-۴) را می توان بصورت زیر نوشت:

$$W = K_2 - K_1 \quad (3-4)$$

رابطه (۳-۴) قضیه کار و انرژی نامیده می شود. بر طبق این قضیه، کار برآیند نیروی وارده بر یک جسم در یک جابه جایی برابر است با تغییر انرژی جنبشی جسم در آن جابه جایی. با توجه به این رابطه می توان دریافت که انرژی جنبشی اجسام چگونه تغییر می کند. اگر کار برآیند نیروها مثبت باشد، $K_2 > K_1$ است و انرژی جنبشی جسم افزایش می یابد. اگر کار برآیند نیروها منفی باشد، $K_2 < K_1$ است و انرژی جنبشی جسم کاهش می یابد. اگر کار برآیند نیروها صفر باشد، $K_2 = K_1$ است و انرژی جنبشی جسم تغییر نمی کند.

فعالیت ۳-۴
با توجه به نکات فوق علت افزایش و یا کاهش انرژی جنبشی اجسام را در مثال های که در ابتدای این بخش ذکر شد توضیح دهید.
قضیه کار و انرژی را در ریزه کاری که در اطراف خود می بینید به کار ببرید.

مثال ۳-۴
جسمی به جرم ۹ کیلوگرم را از ارتفاع ۱۰ متری رها می کنیم. با استفاده از قضیه کار و انرژی تعیین کنید هنگامی که جسم به زمین می رسد، انرژی جنبشی آن چقدر است. کتاب گرانس را ۱۰۰۰۰۰۰ فرض کنید.
حله: در این مثال تنها نیروی وارده و جسم نیروی وزن است. کار آن نیرو برابر است با:

$$F = ma = m \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2d}$$

$$W = Fd = m \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2d} d = \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2)$$

$$W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = K_2 - K_1$$

حال قضیه را مطابق کتاب بیان می کنیم.

۲- حالت هایی را بررسی کنید که $w > 0$ ، $w < 0$ و یا $w = 0$ باشد.

پاسخ: هنگامی که $K_2 > K_1$ باشد و انرژی جنبشی جسم

افزایش یابد کار برآیند نیروها مثبت است.

وقتی $K_2 < K_1$ باشد، کار نیروی برآیند منفی است و

انرژی جنبشی کاهش می یابد و زمانی که $K_2 = K_1$ باشد، انرژی

جنبشی ثابت می ماند.

فعالیت ۴ - ۳

در این فعالیت می خواهیم دانش آموز:

۱- مثال هایی بیان کند که در آنها انرژی جنبشی جسم، افزایش، کاهش یا ثابت بماند.

۲- قضیه ی کار و انرژی را در رخداد های روزانه مورد توجه قرار دهد.

پاسخ:

۱- تویی که در امتداد قائم رو به بالا پرتاب می شود، انرژی جنبشی آن کاهش می یابد علت آن کار نیروی

گرانشی زمین بر روی توپ است. کار نیروی گرانشی زمین منفی است.

۲- اگر توپ از یک بلندی رها شود، انرژی جنبشی آن افزایش می یابد. علت آن کار نیروی گرانشی بر روی

توپ است. در این حالت، کار نیروی گرانشی مثبت است و موجب افزایش انرژی جنبشی می شود.

۳- خودرویی که ترمز می کند، انرژی جنبشی آن کاهش می یابد و کار نیروی ترمز (اصطکاک) موجب تغییر

انرژی جنبشی است.

۴- هنگامی که میخی به دیوار می کوبیم، در حین برخورد چکش به میخ انرژی جنبشی میخ ابتدا افزایش می یابد

زیرا از حال سکون شروع به حرکت می کند (در یک لحظه کوتاه). سپس کاهش می یابد. علت آن کاری است که نیروی

مقاوم تخته روی دستگاه میخ و چکش انجام می دهد.

اما رویدادهایی که می‌تواند با قضیه‌ی کار و انرژی مربوط باشد بسیار زیاد است از جمله می‌توان به موردهای زیر اشاره کرد.

۵- سنگی را از ارتفاع h_1 بالای زمین رها می‌کنیم. کاری که از طرف نیروی گرانشی زمین بر روی آن انجام می‌شود برابر است با:

$$W_1 = mgh_1$$

و انرژی جنبشی سنگ در انتهای مسیر $\frac{1}{2}mv^2$ خواهد بود در این حالت تغییر انرژی جنبشی $\frac{1}{2}mv^2 = K_2 - K_1 = \Delta K$ حال اگر سنگ را از ارتفاع $h_2 > h_1$ رها کنیم، کار انجام شده روی آن از طرف نیروی گرانشی زمین بیشتر و تغییر انرژی جنبشی آن نیز بیش‌تر خواهد بود.

۶- در زیر پای بازیگران سیرک تور پهن می‌کنند. بازیگر هنگام سقوط به تور برخورد می‌کند و او می‌جهد. تغییر انرژی جنبشی بازیگر در این وضعیت خیلی کمتر از هنگامی است که بازیگر به سطح زمین برخورد می‌کند. اما تور چگونه از آسیب رسیدن به شخص جلوگیری می‌کند.

در برخورد شخص به تور تغییر انرژی جنبشی قبل و پس از برخورد قابل ملاحظه نیست این تغییر انرژی برابر کاری است که روی عضله‌های بازیگر انجام می‌شود. بنابراین کار انجام شده موجب آسیب به بدن شخص نمی‌شود.

مثال ۴-۱۰: با این مثال کاربردی نشان می‌دهیم که چگونه می‌توان مسافت توقف خودرو (مسافتی که خودرو در زمان ترمز طی می‌کند تا بایستد) را با توجه به سرعت اولیه تخمین زد. این محاسبه در تعیین فاصله‌ی ایمنی خودروها در رانندگی حائز اهمیت است.

مثال ۴-۸: با حل این مثال دانش‌آموز در به‌کارگیری قضیه‌ی کار و انرژی مهارت کسب می‌کند و نیز متوجه این واقعیت می‌شود که در بسیاری موارد استفاده از قضیه‌ی کار و انرژی ساده‌تر و کارآمدتر از فرمول‌های دینامیک و حرکت‌شناسی است. مثال ۴-۹: مثالی کاربردی از قضیه‌ی کار و انرژی است.

فعالیت ۴ - ۴

این فعالیت روشی کاربردی است برای محاسبه‌ی ضریب اصطکاک بین لاستیک و جاده (که عامل‌های بسیاری در آن دخالت دارند).

پاسخ:

با یک خودرو در یک جاده افقی و مستقیم و کاملاً خلوت با سرعت معین که روی سرعت‌سنج مشاهده می‌شود حرکت می‌کنیم. در یک لحظه پا روی پدال ترمز می‌گذاریم و اتومبیل پس از طی مسافتی می‌ایستد. پس از توقف کامل خودرو پیاده می‌شویم و به‌وسیله‌ی متر طول خط ترمز را اندازه‌گیری می‌کنیم.

از قضیه کار و انرژی می‌توان برای محاسبه کششهای مختلف استفاده کرد. این امر در مثال‌های زیر نشان داده شده است.

مثال ۴-۱۰

اتومبیلی به سرعت 10 m/s با سرعت 20 m/s در حرکت است. رابطه‌ی بین این دو سرعت با ضریب اصطکاک جنبشی بین جاده و لاستیک‌های اتومبیل (که ثابت است) تعیین می‌شود. در آن مسافت نیروی اصطکاک جنبشی و نیروی جاذبه‌ی گرانشی و نیروی وجود دارد. محاسبه‌ی این نیروی اصطکاک را انجام دهید.

$W_f = -f_k d = -\mu_k mg d$

$0 = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 - \mu_k mg d$

و کار نیروی جاذبه‌ی گرانشی و وزن صفر است. سرعت اولیه صفر است.

$0 = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 - \mu_k mg d$

برای محاسبه انرژی جنبشی اولیه صفر است.

$0 = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 - \mu_k mg d$

و $\mu_k = \frac{v_0^2 - v^2}{2gd}$ با استفاده از قضیه کار و انرژی داریم:

$\mu_k = \frac{10^2 - 20^2}{2 \times 10 \times 100} = 0.1$

که از آن می‌توان نتیجه گرفت که ضریب اصطکاک است.

فعالیت ۴-۴

راهنمای کاربردی که با استفاده از آن می‌توان ضریب اصطکاک جنبشی لاستیک ماشین و جاده را تعیین کرد.

مثال ۴-۹

معمری را از ارتفاع h رها می‌کنیم. با استفاده از قضیه کار و انرژی می‌توان آن را در ارتفاع h' محاسبه کرد.

با توجه به قضیه‌ی کار و انرژی خواهیم داشت :

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = W_K$$

$$W_K = f_K \Delta x \cos 180^\circ$$

$$-\frac{1}{2}mv_0^2 = -f_K (\Delta x)$$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \mu_K mg (\Delta x)$$

چون $N = mg$ و $f_k = \mu_k N$ داریم

$$\mu_K = \frac{v_0^2}{2g(\Delta x)}$$

در این رابطه v_0 ، ΔX ، g معلوم اند و μ_k به دست می‌آید.
مشاهده می‌شود در این روش دانستن شتاب ترمز ضروری نیست.

تمرین پیشنهادی



۱- اگر خودرویی با سرعت 80 km/h در یک جاده افقی و مستقیم، خشک و کاملاً خلوت در حرکت باشد و راننده ترمز کند و خودرو پس از طی مسافت 60 m بایستد. ضریب اصطکاک بین لاستیک و جاده را محاسبه کنید.

حل:

$$v = \frac{80 \times 1000}{3600} = 22/23$$

از فعالیت ۴-۴ نتیجه گرفتیم که

$$\mu_k = \frac{v_0^2}{2g(\Delta x)} = \frac{(22/23)^2}{2 \times 9/8 \times 60} = 0/42$$

۲- چگونه می‌توان با استفاده از فعالیت ۴-۴ و تمرین پیشنهادی فوق شتاب ترمز یک خودرو را به دست آورد؟
حل: در هنگام ترمز نیروی وارد بر خودرو (برآیند نیروها) فقط نیروی اصطکاک جاده و لاستیک می‌باشد.

$$F = f_k = ma$$

$$f_k = \mu_k N = \mu_k mg$$

$$\mu_k mg = ma \rightarrow a = \mu_k g$$

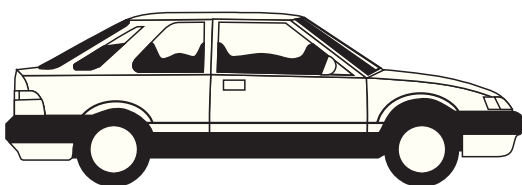
در تمرین ۲ شتاب ترمز برابر خواهد بود با :

$$a = 0/42 \times 9/8 = 4/11 \text{ m/s}^2$$

با استفاده از نتایج حاصل از فعالیت ۴-۴ و تمرین‌های پیشنهادی ۱ و ۲ به اتفاق گروه خود :

۱- ضریب اصطکاک بین لاستیک خودروی خود و جاده

۲- شتاب ترمز خودروی خود را به دست آورید.



شکل ۴-۱۸

فعالیت پیشنهادی
(خارج از کلاس)

از مقاومت هوا صرف نظر کنید.
حل:
جسم به اندازه h سقوط می کند. تنها نیروی وارد بر جسم وزن آن است. اگر وزن در آن جا جانی برابر mg است. انرژی جنبشی اولیه $K_0 = 0$ و انرژی جنبشی نهایی برابر $K_1 = \frac{1}{2}mv^2$ است. در نتیجه،
$$W = K_1 - K_0$$

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

$$v = \sqrt{2gh}$$

تمرین ۳-۴
مثال ۳-۴ را برای ارتفاع های h_1 و h_2 و قطر نیز حل کنید و جدول زیر را تکمیل کنید. قسمت های مربوط به انرژی پتانسیل و مجموع آن با انرژی جنبشی را پس از حل تمرین (۳-۴) پر کنید.

ارتفاع	انرژی جنبشی	سرعت	انرژی پتانسیل	مجموع انرژی های جنبشی و پتانسیل
h				
$\frac{2}{3}h$				
$\frac{1}{3}h$				
$\frac{2}{3}h$				
h				

۳-۴ = انرژی پتانسیل
در فیزیک (۱) و آزمایشگاه دهیم که انرژی پتانسیل گرانشی انرژی ای است که جسم به علت ارتفاعش از سطح زمین دارد. یعنی اگر جسم مطابق شکل (۳-۴) در ارتفاع h قرار دارد.



مثال ۴-۱۱ : در این مثال می خواهیم نشان دهیم که با استفاده از قضیه ی کار و انرژی به جای فرمول های حرکت شناسی و دینامیک در بیش تر موارد می توان مسأله ها را ساده تر حل کرد.

دانستنی



ژول (Joule, James Prescott) / ۱۸۸۹-۱۸۱۸



شکل ۴-۱۹

ژول در انگلستان متولد شد و نزد دالتون تحصیل کرد و به پیروی از اوستد، امپرو و فرادی به مطالعه درباره ی الکتریسیته پرداخت. او به اندازه گیری فوق العاده علاقه داشت و دماسنجی را طراحی کرد که بتواند دمای آب بالا و پایین آبشار را اندازه بگیرد. او قبل از رسیدن به بیست سالگی مقاله ای را منتشر کرد که در آن چگونگی محاسبه ی میزان گرمای حاصل از عبور جریان الکتریکی در سیم بیان شده بود. سرانجام او توانست قانون مشهوری را که به قانون ژول معروف است بیان کند. بنابراین قانون مقدار گرمایی که از عبور جریان الکتریکی در یک مدار حاصل می شود متناسب با مجذور جریان و نیز مقاومت مدار است. او هم چنین با ده سال زحمت توفیق یافت تعیین کند که چه مقدار کار مکانیکی لازم است تا دمای واحد جرم آب را به اندازه ی یک درجه ی فارنهایت بالا برد.

و انرژی و نیز انرژی پتانسیل و در فیزیک (۱) و آزمایشگاه نیز با دانسته های قبلی : در دوره ی راهنمایی دانش آموز با کار انرژی پتانسیل گرانشی و کشسانی آشنا شده است.

۴-۳- انرژی پتانسیل

ایجاد انگیزہ:

۱- تصویر یک وزنه بردار هنگامی که وزنه را در بالای

سر نگه داشته

۲- تصویر یک کمانگیر

۳- تصویر یک سد که آب در پشت آن جمع شده است.

۴- تصویر یک اسباب بازی کوکی

پرسش:

در شکل توضیح دهید وزنه چگونه در بالای سر

وزنه بردار قرار گرفته است؟

پاسخ: با صرف انرژی (کار) وزنه بردار

در شکل ۲ وقتی کمانگیر تیر را رها می کند تیر شروع به

حرکت می کند انرژی جنبشی تیر چگونه تأمین می شود؟

پاسخ: از انرژی ذخیره شده در کمان

در سطح زمین باشد، دارای انرژی پتانسیل گرانشی است.

چگونه می توان فهمید که این جسم دارای انرژی پتانسیل گرانشی است؟

در این بخش می خواهیم این انرژی را به صورت کتی تعریف کنیم. برای بالاترین جسم از سطح زمین تا ارتفاع h باید کار انجام دهیم. چون جسم انرژی پتانسیل گرانشی را از این طریق کسب کرده است، می توان گفت کار انجام شده به صورت انرژی پتانسیل در جسم ذخیره شده است. با توجه به نکات فوق انرژی پتانسیل گرانشی به صورت زیر تعریف می شود:

«انرژی پتانسیل گرانشی یک جسم در یک نقطه نسبت به زمین تا نقطه پانده منتقل کنیم. انجام می دهیم تا جسم را با سرعت ثابت از سطح زمین تا نقطه پانده منتقل کنیم.»

برای این که جسم در شکل (۱-۳) را با سرعت ثابت تا ارتفاع h بالا ببریم، باید نیروی برابر با وزن جسم رو به بالا به آن وارد کنیم. در نتیجه، کار انجام شده برابر است با:

$$W = mgh \quad (1-3)$$

با استفاده از تعریف فوق انرژی پتانسیل گرانشی جسم در ارتفاع h با رابطه زیر داده می شود:

$$U = mgh \quad (1-4)$$

تمرین ۳-۳

انرژی پتانسیل جسم در شکل (۱-۳) را در ارتفاع h_1 ، h_2 و h_3 و صفر بدست آورید و جدول تمرین (۱-۳) را تکمیل و نمودار تغییرات انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل گرانشی و مجموع آنها را و حسب ارتفاع رسم کنید.

لازم به ذکر است که اگر شرط با سرعت ثابت در تعریف انرژی پتانسیل ذکر نمی شد، سرعت جسم مثلاً افزایش می یافت و مقداری از کار صرف افزایش انرژی جنبشی جسم می گردید.

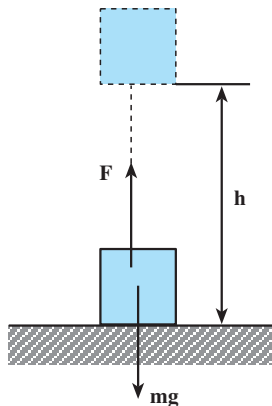
انرژی پتانسیل گسستگی را نیز می توان به روش فوق تعریف کرد. در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دوم هنگامی که فنر، مطابق شکل (۱-۳) الف و ب را کشیدیم و با فنر رها کردیم، فنر ذخیره شده است دارای انرژی پتانسیل است.

چگونه می توان برود که در این حالت ها انرژی پتانسیل گسستگی در فنر ذخیره شده است؟

شخصی وزنه ای را از سطح زمین تا ارتفاع h با سرعت ثابت و آرام بالا می برد.

الف) کار انجام شده توسط شخص را به دست آورید.

ب) کار نیروی گرانشی را حساب کنید.



$$W_F = Fh \cos 0 = Fh$$

$$W_g = mgh \cos 180 = -mgh$$

$$F - mg = ma = 0$$

$$F = mg$$

$$W_F = mgh$$

ولی چون سرعت ثابت بوده است

شکل ۴- ۲۰

در این حالت اندازه ی کار نیروی وزن و کار نیروی شخص یکی است.

پرسش: با توجه به آنچه در فیزیک (۱) و آزمایشگاه خوانده اید، توضیح دهید کار نیروی شخص به چه

صورت در می آید.

پاسخ: به صورت انرژی پتانسیل گرانشی

انکون از دانش آموز می خواهیم، انرژی پتانسیل گرانشی را تعریف کند و سپس مطابق کتاب انرژی پتانسیل

گرانشی را تعریف می کنیم.