1.5.4 Kinetická energie

Předpoklady: 1501

Energie je jeden z nejpoužívanějších, ale také nejhůře definovatelných pojmů ve středoškolské fyzice.
V běžném životě: energie = něco, co potřebujeme k vykonávání práce. Vyskytuje se v různých formách, které se dají měnit z jedné na druhou.

To nám zatím stačí, lépe si pokusíme pojem energie přiblížit na konci kapitoly.

Př. 1: Na stole je položena cvrnkací kulička. Můžeme této kuličce dodat energii?

Mnoho způsobů:

- kuličku rozpohybujeme $\Rightarrow$ při srážce může rozpohybovat jinou kuličku,
- kuličku zvedneme (nebo ji necháme spadnout na zem) $\Rightarrow$ během pádu získá rychlost a tou může strčit do jiné kuličky,
- kuličku zahřejeme $\Rightarrow$ může zahřát ona nás (stačilo by ji dát na místo, kde je nižší teplota než ve třídě),
- atd.

My se budeme zabývat energií, kterou mají pohybující se předměty – **kinetickou (pohybovou) energií**.

Př. 2: Odhadni, na kterých veličinách závisí množství kinetické energie, kterou má pohybující se předmět a navrhni vzorec pro její výpočet.

- hmotnost předmětu: (moucha má menší energii než náklaďák)
- rychlost předmětu: (slimák má menší energii než kulka)

$E = mv$

Pedagogická poznámka: Během diskuse nad podezřelými veličinami se snažím vést studenty k tomu, že kinetická energie je okamžitá vlastnost a měla by tedy být popsána veličinami, které také popisují okamžitý stav.

Př. 3: Najdi důvody, proč vzorec $E = mv$ nemůže být správným vztahem pro kinetickou energii.

Více důvodů:

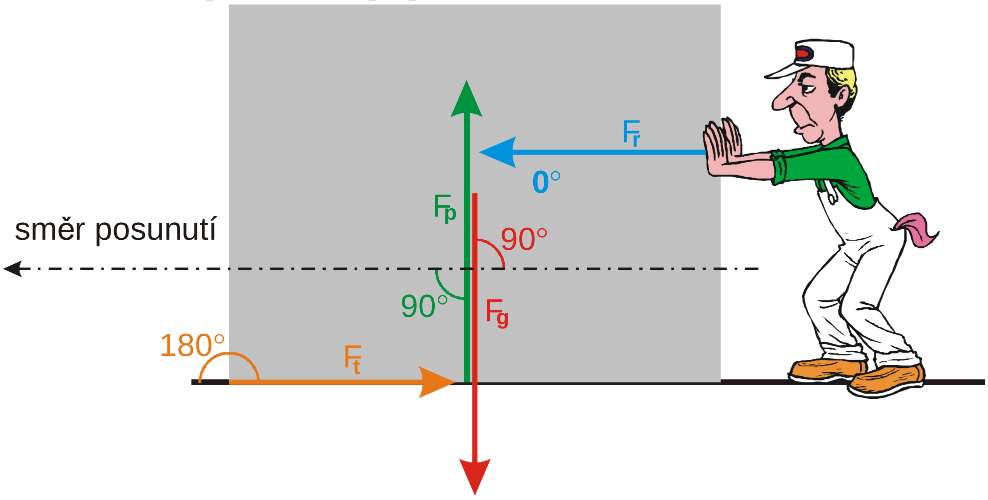
- mv - vztah pro hybnost, těžko budeme mít stejný vztah pro různé veličiny.
- mv - výsledkem výpočtu je vektor, energie je ale skalární veličina.
- Kontrola jednotek: $mv = 1\,\text{kg} \cdot 1\,\text{m/s}$, ale jednotkou energie je
  $1\,\text{J} = 1\,\text{N} \cdot 1\,\text{m} = 1\,\text{kg} \cdot 1\,\text{m/s}^2 \cdot 1\,\text{m} = 1\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$.

Než najdeme správný vzorec pro kinetickou energii, musíme zjistit, kde se kinetická energie v tělesech bere.

Pedagogická poznámka: Následující příklad je spíše pro lepší část třídy. I kvůli času je dobré k tomu přihlédnout a ty horší příliš netrápit.

Př. 4: U všech následujících dějů: nakresli obrázky, popiš působící síly, práce, kterou síly konají, celkovou vykonanou práci všech sil a změnu kinetické energie.
a) Rovnoměrně přesouváme po podlaze skříň.
b) Krabička se zastaví při pohybu po stole.
c) Upuštěná křída padá k zemi (odpor vzduchu zanedbej).

a) Rovnoměrně přesouváme po podlaze skříň.

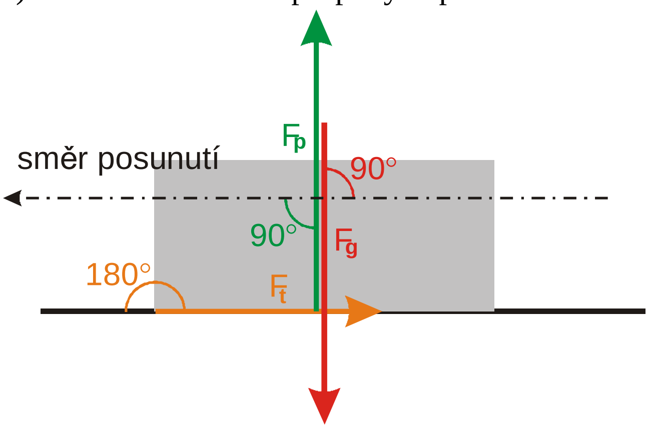


Působící síly:

- F_g - gravitační síla Země, kolmá na posunutí $\Rightarrow$ $W_{F_g} = 0$,
- F_p - tlaková síla podložky, kolmá na posunutí $\Rightarrow$ $W_{F_p} = 0$,
- F_c - síla tlačícího člověka, rovnoběžná s posunutím $\Rightarrow$ $W_{F_c} = F_c \cdot s$,
- F_t - třecí síla, opačná k posunutí $\Rightarrow$ $W_{F_t} = F_t \cdot s \cdot \cos 180° < 0$.

Pohyb je rovnoměrný $\Rightarrow$ výsledná síla je nulová $\Rightarrow$ $F_t = F_c$ $\Rightarrow$ $W = W_{F_c} + W_{F_t} = 0$.
Kinetická energie skříně se při rovnoměrném pohybu nemění (skříň je stále stejně těžká a má stále stejnou rychlost).

b) Krabička se zastaví při pohybu po stole.



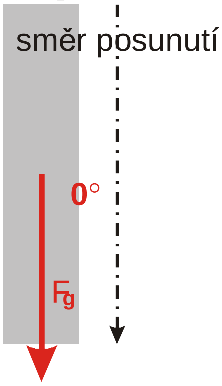
Působící síly:

- F_g - gravitační síla Země, kolmá na posunutí $\Rightarrow$ $W_{F_g} = 0$,

- F_p - tlaková síla podložky, kolmá na posunutí $\Rightarrow$ $W_{F_p} = 0$,
- F_t - třecí síla, opačná k posunutí $\Rightarrow$ $W_{F_t} = F_t \cdot s \cdot \cos 180° < 0$.

Výsledná práce $W = W_{F_t} < 0$.
Kinetická energie krabičky se při zastavování zmenší na nulu (stojící krabička má nulovou rychlost).

c) Upuštěná křída padá k zemi (odpor vzduchu zanedbej).



Působící síly:

- F_g - gravitační síla Země, rovnoběžná s posunutím $\Rightarrow$ $W_{F_g} = F_g \cdot s > 0$

Kinetická energie krabičky se při padání zvětší z nuly na maximální hodnotu (křída nejdříve stojí a má nulovou kinetickou energii, během pádu se její rychlost zvětšuje, při dopadu má největší rychlost a tedy i kinetickou energii).

To nemůže být náhoda $\Rightarrow$ **Změna kinetické energie tělesa se rovná práci, kterou vykoná výslednice působících sil:** $\Delta E_k = W$ **.**

$\Rightarrow$ Spočteme práci, kterou vykoná gravitační síla při pádu křídy, a tím získáme velikost kinetické energie: $W = E_k = Fs = F_g \cdot s$.
(potřebujeme vyjádřit výsledek pomocí hmotnosti a rychlosti $\Rightarrow$ $F_g = m \cdot g$,
$s = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}gt^2$)

$$E_k = F_g \cdot s = m \cdot g \cdot \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}mg^2t^2 = \frac{1}{2}mv^2$$

Kinetická energie hmotného bodu o hmotnosti *m*, který se pohybuje rychlostí o velikosti *v*, je dána vztahem $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ **.**

Př. 5: Urči kinetickou energii:
a) chodce o hmotnosti 75 kg jdoucího rychlostí 5 km/h,
b) auta o hmotnosti 1,6 t jedoucího rychlostí 130 km/h,
c) mouchy o hmotnosti 0,1 g letící rychlostí 8 km/h.

a) chodec o hmotnosti 75 kg jdoucí rychlostí 5 km/h
$v = 5\,\text{km/h} = 1,4\,\text{m/s}$, $m = 75\,\text{kg}$, $E_k = ?$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}75 \cdot 1,4^2\,\text{J} = 72\,\text{J}$$

b) auta o hmotnosti 1,6 t jedoucího rychlostí 130 km/h
$v = 130\,\text{km/h} = 36,1\,\text{m/s}$, $m = 1,6\,\text{t} = 1600\,\text{kg}$, $E_k = ?$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = 1600 \cdot 36,1^2\,\text{J} = 104000\,\text{J} = 1\,\text{MJ}$$

c) mouchy o hmotnosti 0,1 g letící rychlostí 8 km/h

$v = 8\,\text{km/h} = 2,2\,\text{m/s}$, $m = 0,1\text{g} = 0,0001\,\text{kg}$, $E_k = ?$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = 0,0001 \cdot 2,2^2\,\text{J} = 0,00025\,\text{J}$$

Dodatek: Vyhledávání hmotnosti mouchy na internetu je velmi poučné. Udávané hodnoty jsou v rozmezí $500\mu\text{g}$ až 1 g, liší se tedy 2000 krát. Použitá hodnota je autorský odhad, který se v létě pokusím ověřit vlastním měřením.

POZOR: Rychlost tělesa závisí na volbě souřadné soustavy $\Rightarrow$ kinetická energie bude na volbě souřadné soustavy záviset také.

Př. 6: Urči kinetickou energie prázdné pivní láhve vyhozené z okna vlaku jedoucího rychlostí 90 km/h vzhledem:
a) ke vlaku
b) ke kolejím
c) ke vlaku, jedoucímu stejnou rychlostí v protisměru.
Rychlost, kterou cestující láhev vyhodil, považuj vzhledem k rychlostem vlaku za zanedbatelně malou. Hmotnost prázdné pivní láhve je 340 g.

$m = 340\,\text{g} = 0,34\,\text{kg}$

a) ke vlaku

Podle zadání máme rychlost hození zanedbat $\Rightarrow$ $v = 0\,\text{m/s}$ $\Rightarrow$ kinetická energie láhve vůči vlaku je nulová.

b) ke kolejím

Vzhledem ke kolejím má láhev stejnou rychlost jako vlak $\Rightarrow$ $v = 90\,\text{km/h} = 25\,\text{m/s}$

$$E_k = \frac{1}{2}m\,v^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,34 \cdot 25^2\,\text{J} = 106,25\,\text{J}$$

c) ke vlaku, jedoucímu stejnou rychlostí v protisměru

Vzhledem k protijedoucímu vlaku má láhev dvojnásobnou rychlost (rychlostí vlaků se sčítají).
$\Rightarrow$ $v = 180\,\text{km/h} = 50\,\text{m/s}$

$$E_k = \frac{1}{2}m\,v^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,34 \cdot 50^2\,\text{J} = 425\,\text{J}$$

Dodatek: I když vyhazování předmětů z vlaku vypadá jako nevinná zábava, kvůli značné kinetické energii předmětů, jde o hloupou frajeřinu ohrožující zdraví a často i životy. Pro porovnání:
Náboj ze samopalu AK-47 (kalašnikov) má hmotnost 8 g a úsťovou rychlost 710 m/s. Kinetická energie náboje ihned po výstřelu je tedy

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}0,008 \cdot 710^2\,\text{J} = 2000\,\text{J}.$$

Pistolový náboj Luger 9mm má hmotnost 8 g a průměrnou úsťovou rychlost 340 m/s. Kinetická energie náboje ihned po výstřelu je tedy

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}0,008 \cdot 340^2\,\text{J} = 462\,\text{J}.$$

Pedagogická poznámka: Upozorňuji studenty, že i když rychlost mezi body b) a c) vzrostla na dvojnásobek, kinetická energie se zvětšila čtyřikrát (důsledek druhé mocniny ve vzorci).

Př. 7: Urči rychlost, kterou se po cvrknutí rukou pohybovala po stole krabička, která se zastavila na dráze 60 cm ($f = 0,6$).

$s = 60\,\text{cm} = 0,6\,\text{m}$, $f = 0,6$, $v = ?$

Krabička měla po cvrknutí kinetickou energii, kterou spotřebovala na vykonání práce nutné k překonání třecí síly.

$W = E_k$

$Fs = Nfs = mgfs = \frac{1}{2}mv^2$

$gf\ s = \frac{1}{2}v^2$

$2gf\ s = v^2$

$v = \sqrt{2gf\ s} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0,6 \cdot 0,6}\,\text{m/s} = 2,68\,\text{m/s}$

Krabička se po cvrknutí pohybovala rychlostí 2,68 m/s.

Dodatek: Přesnější argumentace v předchozím příkladu by měla vypadat asi takto: Krabička měla po cvrknutí kinetickou energii, jejíž změna během pohybu po stole se rovná záporné práci, kterou při pohybu krabičky vykoná třecí síla. Protože na konci pokusu krabička stojí, platí: $E_2 = 0 \Rightarrow \Delta E_k = E_{k2} - E_{k1} = 0 - E_{k1}$

$W = \Delta E_k$

$F_t s \cdot \cos 180° = -\frac{1}{2}mv^2$

$mgf\ s \cdot (-1) = -\frac{1}{2}mv^2$, dále je postup stejný s řešením použitým v příkladu.

Pedagogická poznámka: U přesnějšího přístupu zmiňovaného v dodatku je třeba dát pozor. Pro mnoho studentů je náročný a vede u nich k formálnímu přijetí, které ústí do mechanického biflování příkladu. Když postup v dodatku před studenty zmiňuji, zdůrazňuji, že všichni, kterým nepřijde naprosto přirozený se mají raději vrátit k jednodušší úvaze, kterou jsme použili při řešení příkladu.

Př. 8: Urči minimální hodnotu koeficientu tření mezi pneumatikami a silnicí pokud má automobil jedoucí rychlostí 50 km/h zastavit na dráze 10 m.

$v = 50\,\text{km/h} = 13,9\,\text{m/s}$ $s = 10\,\text{m}$ $f = ?$

Použijeme stejnou úvahu jako u předchozího příkladu.

$W = E_k$

$F_t s = \frac{1}{2}mv^2$

$Nfs = mgf\ s = \frac{1}{2}mv^2$

$gf\ s = \frac{1}{2}v^2$

$$f = \frac{v^2}{2gs}$$

$$f = \frac{v^2}{2gs} = \frac{13{,}9^2}{2 \cdot 10 \cdot 10} = 0{,}96$$

Hodnota koeficientu tření mezi silnicí a pneumatikou musí být minimálně 0,96.

Dodatek: Stejně jako u příkladu 7 by bylo i u předchozího příkladu na místě argumentovat poněkud přesněji.

Shrnutí: Kinetická energie je dána vztahem $E_k = \frac{1}{2}mv^2$.