

1.5.5 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 navrhní vzorec pro její výpočet.

- hmotnost předmětu: (moucha má menší energii než nákladřák)
- 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

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2 \cdot 1 \text{ m} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}.$$

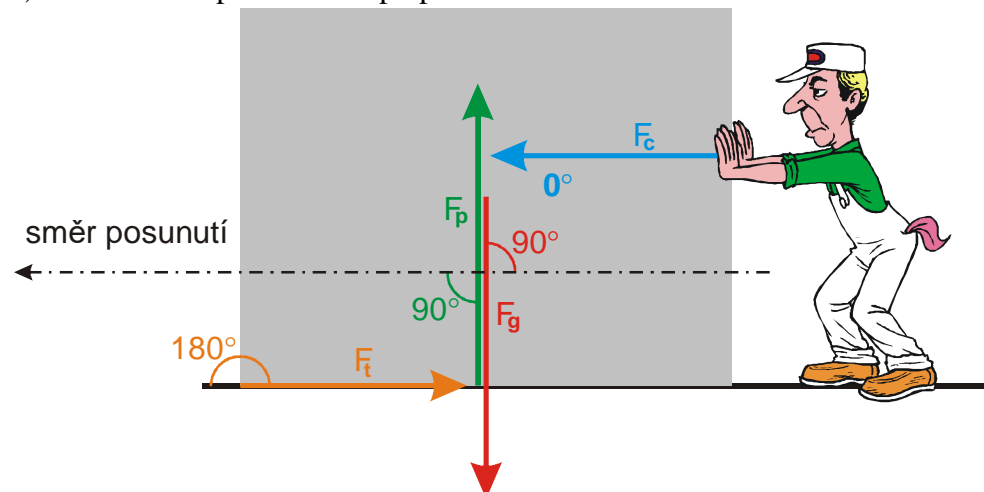
Než najdeme správný vzorec pro kinetickou energii, musíme zjistit, kde se kinetická energie v tělesech bere.

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.

- Rovnoměrně přesouváme po podlaze skříň.
- Krabička se zastaví při pohybu po stole.
- Upuštěná křída padá k zemi (odpor vzduchu zanedbej).

a) Rovnoměrně přesouváme po podlaze skříň.



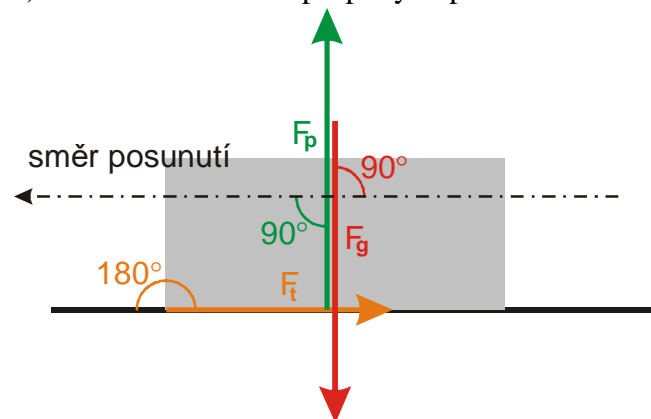
Působící síly:

- 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 $\Rightarrow W_{F_t} = F_t \cdot s \cdot \cos 180^\circ < 0$.

Pohyb je rovnoměrný \Rightarrow výsledná síla je nulová $\Rightarrow F_t = F_c \Rightarrow W = W_{F_c} + W_{F_t} = 0$.

Kinetická energie skříňe 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:

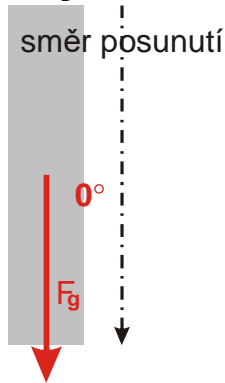
- F_g - gravitační síla Země, kolmá na posunutí $\Rightarrow W_{F_g} = 0$,

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

Výsledná práce $W = W_{F_t} < 0$.

Kinetická energie krabíčky se při zastavování zmenší na nulu (stojící krabíčka 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 krabíčky se při pádání 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 křídou, a tím získáme velikost kinetické energie: $W = E_k = F_s = F_g \cdot s$.

(potřebujeme vyjádřit výsledek pomocí hmotnosti a rychlosti $\Rightarrow F_g = m \cdot g$,

$$s = \frac{1}{2} a t^2 = \frac{1}{2} g t^2$$

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

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

Př. 5: Urči kinetickou energii:

- chodce o hmotnosti 75 kg jdoucího rychlostí 5 km/h,
- auta o hmotnosti 1,6 t jedoucího rychlostí 130 km/h,
- mouchy o hmotnosti 0,1 g letící rychlostí 8 km/h.

a) chodec o hmotnosti 75 kg jdoucí rychlostí 5 km/h

$$v = 5 \text{ km/h} = 1,4 \text{ m/s}, m = 75 \text{ kg}, E_k = ?$$

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

b) auta o hmotnosti 1,6 t jedoucího rychlostí 130 km/h

$$v = 130 \text{ km/h} = 36,1 \text{ m/s}, m = 1,6 \text{ t} = 1600 \text{ kg}, E_k = ?$$

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1600 \cdot 36,1^2 \text{ J} = 1\,040\,000 \text{ J} = 1 \text{ MJ}$$

c) mouchy o hmotnosti 0,1 g letící rychlostí 8 km/h
 $v = 8 \text{ km/h} = 2,2 \text{ m/s}$, $m = 0,1 \text{ g} = 0,0001 \text{ kg}$, $E_k = ?$

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

Dodatek: Vyhledávání hmotnosti mouchy na internetu je velmi poučné. Udávané hodnoty jsou v rozmezí 500 μg 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 energii 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 ústřovou rychlost 710 m/s. Kinetická energie náboje ihned po výstřelu je tedy

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

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

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

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 ($f = 0,6$).

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

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

$$W = E_k$$

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

$$gfs = \frac{1}{2}v^2$$

$$2gfs = v^2$$

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

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: $E_2 = 0 \Rightarrow \Delta E_k = E_{k2} - E_{k1} = 0 - E_{k1}$

$$W = \Delta E_k$$

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

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

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.

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

Použijeme stejnou úvahu jako u předchozího příkladu.

$$W = E_k$$

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

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

$$gfs = \frac{1}{2}v^2$$

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

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

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 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$.