

Mechanická energie

Ivo Volf*, Univerzita Hradec Králové

Tento článek nemá být ani vyčerpávající analýzou pojmu energie a způsobů jejího zavádění, ani radou pro učitele, jaký nejlepší didaktický postup zvolit při výuce fyziky na střední škole. Jde spíše o úvahy, které ovlivnily můj osobní přístup k výuce této problematiky. Vycházejí z více než 35leté zkušenosti z práce se žáky střední školy a s vysokoškolskými studenty.

V učebnicích pro základní a střední školu, v populárně vědecké literatuře i v encyklopedických slovnících se většinou zavádí energie jako schopnost tělesa konat práci. Tímto přístupem pak je žák, který bude chápat energii v tomto smyslu, ovlivňován po celý život. Pokud jde o energii mechanickou, je možné, že mu tento přístup příliš nevhodí, ale s prvním vstupem do oblasti termiky začne žák zaměňovat navzájem teplo, práci a vnitřní energii, a v tom se ukáže, že pojmu energie nerozumí.

Ve fyzice často hovoříme o tom, že těleso energii má či nemá, že má různé druhy energie, jedna energie (např. polohová) se při volném pádu přeměňuje v jinou energii (např. pohybovou). Výuka fyziky pak korunuje svůj přístup principem jednoduchosti – učitel volí ty nejjednodušší situace k vyvození pojmu energie, jež k výše uvedenému vymezení – energie je práce “schovaná” v tělese – přímo navádějí. K tomu dodáme, že slovo energie proniklo z fyziky i do obecné mluvy, kde však ztratilo svůj původní fyzikální význam (člověk plný energie = člověk neposedný, tj. neustále se pohybující, člověk s duševní energií = člověk produkující myšlenky). Ani učebnice fyziky se nesprávnému pojetí pojmu energie nevyvarovaly – běžně se jedna energie přeměňuje v jinou, aniž bychom však měli my jako učitelé fyziky přesnou představu, že nejde o nějaké fluidum, které těleso má či nemá, ale o fyzikální veličinu, a žáci si odnášejí ze školy zcela nesprávné představy.

Při výuce v I. ročníku vyššího gymnázia jsem se proto rozhodl opustit zjednodušený postup zavádění pojmu energie, vedoucí k výše uvedeným důsledkům, ale přesto dosti přesně tento pojem vyvodit, aby žáci pochopili, že jde o fyzikální veličinu, vyjadřující polohový nebo pohybový stav tělesa. U fyzikální veličiny pak nezjišťujeme, zda těleso tuto veličinu má či nemá, ale sledujeme její hodnotu – je nenulová či nulová, zvětšuje se či zmenšuje, nemůže se přeměňovat. Zpravidla žákům uvádím tento příklad (pozor: příklady vždy kulhají!): Při volném pádu tělesa se polohová i pohybová energie mění; polohová energie se zmenšuje, pohybová energie tělesa se zvětšuje. Jde však o dvě různé fyzikální veličiny (jedna popisuje polohový stav tělesa, druhá pohybový stav tělesa), i když obě vyjádřené v týchž jednotkách. Ale při volném pádu se výška tělesa nad podložkou zmenšuje a rychlost tělesa vzrůstá. Přesto netvrdíme, že výška se mění na rychlost a je to pravda.

Podívejme se tedy, jak s těmito pojmy pracují v 1. ročníku střední školy.

1. Maminka potřebuje přemístit květináč ze stolku na skříň. Fyzikálně tedy tvrdíme, že těleso o hmotnosti m musíme z výšky h_1 přemístit do polohy dané výškou h_2 nad podložkou proti tíhové síle. Určíme proto práci, kterou musíme vykonat.

$$W = F \cdot s = m \cdot g \cdot (h_2 - h_1) = m \cdot g \cdot h_2 - m \cdot g \cdot h_1.$$

* ivo.volf@uhk.cz

Veličina $E_p = m \cdot g \cdot h$ je funkcí polohy (dané výškou h nad podložkou, pro niž je $h = 0$ m) tělesa o hmotnosti m v homogenním tíhovém poli Země, popsáném intenzitou g ($g = \frac{F_G}{m}$), a nazýváme ji polohová (potenciální) energie.

Hladina polohové energie spojuje všechna místa, jež mají stejnou výšku nad podložkou, která je nulovou hladinou polohové energie.

2. Cyklista se rozjíždí se zrychlením a , po určité době se jeho rychlost zvětší o $\Delta v = v - v_0$. Fyzikálně popíšeme tuto situaci v určitém zjednodušení. Změnu rychlosti způsobí síla $F = m \cdot a$, na dráze s se změní rychlost z hodnoty v_0 na hodnotu v za dobu t . Platí $s = v_p \cdot t = \frac{1}{2} \cdot (v + v_0) \cdot t$, $a = \frac{v - v_0}{t}$, kde v_0 je počáteční rychlost a v_p průměrná rychlost. Proto pro práci síly F na dráze s lze psát:

$$W = F \cdot s = m \cdot a \cdot s = m \cdot \frac{v - v_0}{t} \cdot \frac{1}{2} \cdot (v + v_0) \cdot t = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2.$$

Veličina $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ je funkcí rychlosti tělesa o hmotnosti m , vzhledem ke vztažné soustavě a nazývá se pohybová (kinetická) energie. Tato energie dosahuje nulové hodnoty pro tělesa, která jsou vzhledem ke vztažné soustavě v klidu.

3. Při volném pádu tělesa z výšky h na povrch Země se polohová energie tělesa o hmotnosti m zmenšuje, pohybová energie se zvětšuje. Na počátku je polohová energie $E_p = m \cdot g \cdot h$, pohybová energie $E_k = 0$ J. Při dopadu je polohová energie $E_p = 0$ J, pohybová energie $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$, ale z kinematiky víme, že

$$v^2 = 2 \cdot g \cdot h, \text{ a proto } E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h = E_p.$$

Když necháme těleso padat po dráze x , dosáhne rychlosti $v_x = \sqrt{2 \cdot g \cdot x}$, pohybová energie $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_x^2 = m \cdot g \cdot x$, těleso je ve výšce $h - x$ nad povrchem Země, a proto bude jeho polohová energie rovna $E_p = m \cdot g \cdot (h - x) = m \cdot h \cdot g - m \cdot g \cdot x$.

Součet polohové a pohybové energie

na počátku pohybu $E = E_k + E_p = m \cdot g \cdot h,$

na konci pohybu $E = E_k + E_p = m \cdot g \cdot h,$

v libovolném místě $E = m \cdot g \cdot x + m \cdot g \cdot h - m \cdot g \cdot x = m \cdot g \cdot h.$

Při volném pádu se polohová energie tělesa zmenšuje, jeho pohybová energie se zvětšuje, ale výsledná mechanická energie $E = E_k + E_p = m \cdot g \cdot h$ zůstává stejná. Proto je třeba porovnávat změny ΔE_k a ΔE_p pohybové a polohové energie. Protože $E = \text{konst.}$, je $\Delta E = 0$ a platí $\Delta E_k = -\Delta E_p$.

Poznámka 1: V učebnicích se výklad provádí pro případ, že se těleso zvedá přímo z hladiny $h_0 = 0$ m a potřebná práce $W = m \cdot g \cdot h = E_p$, nebo se těleso rozjíždí

z klidu, takže $s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$, $v = a \cdot t$, takže

$$W = F \cdot s = m \cdot a \cdot \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (a \cdot t)^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = E_k .$$

Zjednodušené odvození však vede k nesprávnému pojetí, že práce je rovna energii ($\Delta E = E - 0 = E$).

Poznámka 2: Zavedení kinetické energie lze provést později i v případě libovolného jednorozměrného pohybu, neboť

$$W = \int_{s_0}^s F \, ds = \int_{s_0}^s m \cdot \frac{dv}{dt} \cdot ds = \int_{v_0}^v m \cdot v \, dv = \frac{1}{2} m \cdot v^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_0^2 = E_k - E_{k_0} = \Delta E_k .$$

4. Podobně dospějeme k energii napjaté pružiny. Když pružinu částečně napneme silou F_0 , platí za zjednodušujících podmínek $F_0 = k \cdot x_0$. Napínáme-li pružinu dále, dosáhne výchylky x , tahová síla $F = k \cdot x$. Na dráze $s = x - x_0$ působí síla poměrné velikosti, lineárně závislá výchylce, takže lze určit průměrnou sílu

$$F_p = \frac{1}{2} \cdot (F + F_0) = \frac{1}{2} \cdot k \cdot (x + x_0) .$$

Pro výpočet práce

$$W = F_p \cdot s = \frac{1}{2} \cdot k \cdot (x + x_0) \cdot (x - x_0) = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 - \frac{1}{2} \cdot k \cdot x_0^2 .$$

Veličinu $E_p = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$, závislejší na prodloužení pružiny x i na veličině k pružinu charakterizující, nazveme potenciální energií pružnosti.

5. Uvažme vzduch o počátečním tlaku p_0 ve válci objemu V_0 , který je uzavřen vzduchotěsně pístem plošného obsahu S . Stlačením pístu vzniká ve vzduchu uzavřeném ve válci přetlak $p - p_0$. Vzduch ve válci tlačí na píst zpočátku silou $F_0 = S \cdot p_0$, na konci silou $F = S \cdot p$, píst se přesune z polohy x_0 do polohy x , tedy po dráze $x - x_0$. Tady již nemůžeme zjednodušeně dospět ke vztahu pro výpočet práce (síla už není lineární funkcí polohy). Uvedeným případem se však dostáváme do další oblasti fyziky, kterou je molekulová fyzika a termika, kde pochopení vztahu práce a energie je zkomplikováno další veličinou – teplo.

Ze zákona zachování energie pak dovedeme dospět k řešení řady problémů, při nichž zavedením pojmu energie podstatně zjednodušíme výpočty. Tomu věnujeme další článek. Prosím učitele fyziky na středních školách, aby mi sdělili své osobní zkušenosti z didaktiky zavádění a používání pojmu energie.

Závěrem chci znovu zdůraznit, že malá změna při vyvození pojmu energie může mít značné důsledky pro pochopení tohoto, v celé fyzice použitelného pojmu, který žák pak chápe jako fyzikální veličinu, funkci polohy a pohybového stavu, bude se správněji vyjadřovat a opustí pojetí energie jakožto nějakého fluida, jak k tomu vede někdy výuka fyziky.