

An aerial photograph of a rural landscape. In the foreground, there are green fields and a small, light-colored building. A road or path leads from the bottom left towards the building. In the background, a large hill or mountain rises, covered in dense forest. The top of the hill is rocky and appears to be a cliff face. The sky is clear and blue.

Potenciální energie, zákon zachování energie

Přednášející:

RNDr. František Adamec, CSc.

Ústav fyziky a biofyziky JČU v Českých Budějovicích

Na základě učebnic:

Halliday, Resnick

Fundamentals of Physics 8th Edition, Wiley 2005

Feynman, Leighton, Sands

Feynmanovy přednášky z fyziky

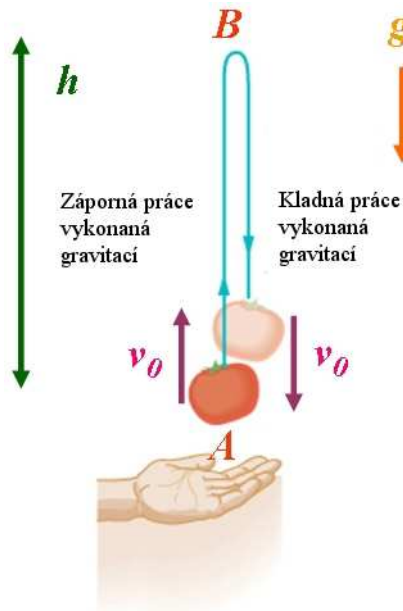
Fragment 2000



Důležitým úkolem fyziky je najít všechny typy energií a sil. Jedním ze základních energií je energie spojená s uspořádáním pozorovaného systému. Energii spojenou s uspořádáním systému označujeme jako **potenciální energii**. Na skokana na obrázku působí gravitační síla, tato síla je příčinou skokanova pohybu a zároveň vzrůstu jeho kinetické energie, která je vyšší čím je místo odrazu výš. Pohyb skokana (pád) a vzrůst kinetické jeho energie můžeme přisoudit existenci **gravitační potenciální energie**.

V momentě, kdy skokan začne napínat lano uvázané k nohám, jeho rychlost se zmenšuje, jeho kinetická energie se postupně přeměňuje v důsledku působení elastických sil působících v laně. Lano se prodlužuje a vzrůstá jeho potenciální energie pružnosti.

Práce a potenciální energie



1. Pokus se zeleninou.

Vyhodíme rajče kolmo vzhůru s počáteční rychlostí v_0 {Rajče – Země} představují izolovaný mechanický systém: hmotné těleso-gravitační pole země. V tomto systému působí na rajče gravitační síla. Tato síla koná během stoupaní rajčete zápornou práci a odebírá rajčeti jeho počáteční kinetickou energii. V nejvyšším bodě dráhy (B) je rychlost rajčete nulová. Poté padá volným pádem, při průchodu místem A dosáhne jeho rychlost původní hodnoty v_0 .

Během pohybu z A do B vykoná gravitační síla F_g na tělese zápornou práci $W_1 = -mgh$, těleso je brzděno.

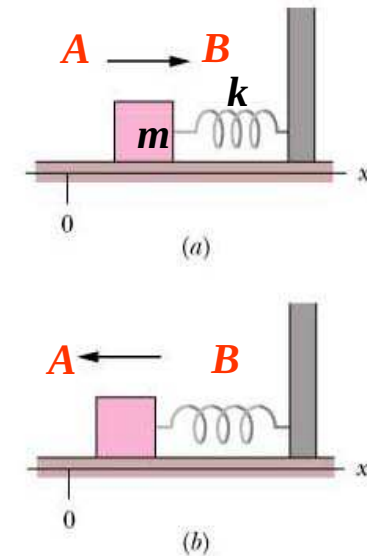
Kinetická energie tělesa v místě A je maximální, v místě B je nulová. Kinetická energie se během stoupaní v gravitačním poli země postupně mění v **gravitační potenciální energii U**.

Naopak při pohybu v opačném směru z B k A přechází **potenciální energie** postupně v **kinetickou energii** a gravitační síla F_g vykoná na tělese kladnou práci $W_2 = mgh$.

Změna potenciální energie ΔU je definován: $\Delta U = -W$

2. Pokus s pružinou

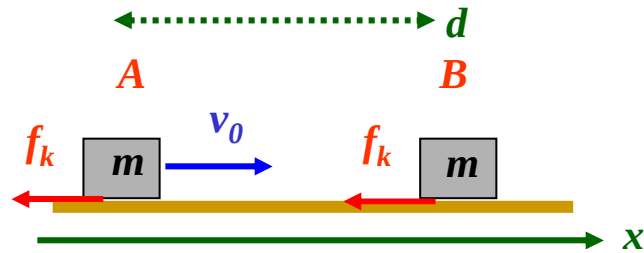
Těleso hmotnosti m připevněné k pružině s konstantou pružnosti k je opět izolovaný mechanický systém. Počáteční rychlost tělesa v místě A je v_0 . Pružina těleso postupně zpomaluje, až se těleso v místě B úplně zastaví, rozdíl vzdáleností A - B odpovídá stlačení pružiny x . Po dosažení bodu B je těleso postupně urychlováno elastickou silou stlačené pružiny až v místě A je jeho rychlost opět v_0 .



Během pohybu hmotného tělesa ve směru $A \rightarrow B$ vykoná elastická síla F_s zápornou práci $W_1 = -kx^2/2$. Kinetická energie se postupně přeměňuje v potenciální energii pružnosti U . Naopak při pohybu ve směru $B \rightarrow A$ koná pružina kladnou práci $W_2 = kx^2/2$. Tedy nejprve je kinetická energie systému hmotné těleso-pružina transformována v potenciální energii (uloženou v pružině) U , následně pak je tato energie přeměněna v kinetickou energii. Změna potenciální energie U je opět dána:

$$\Delta U = -W$$

Konzervativní a nekonzervativní síly



Gravitační sílu a sílu pružnosti nazýváme silami **konzervativními**, neboť kinetickou energii lze beze ztrát přeměnit v potenciální energii a naopak. Konzervativní je míněno ve smyslu „zachování“, energie je prací pouze přeměněna v jinou formu energie a to beze ztrát.

Práce vykonaná třecí silou

Uvažujme systém těleso tvaru kvádru o hmotnosti m a plochu na níž kvádr leží. Hmotný kvádr je na počátku v klidu v místě A . Koeficient tření mezi kvádrem a plochou je μ_k . V místě A udělíme kvádru počáteční rychlost v_0 , kvádr se pohybuje horizontálně podél povrchu z místa A do B . Během pohybu na kvádr působí třecí síla f_k , která kvádr postupně zpomaluje až se kvádr v bodě B , po překonání vzdálenosti d zastaví. Práce vykonaná třecí silou při zpomalování kvádru je $W_f = -\mu_k mgd$.

Kinetická energie kvádru se působením třecí síly f_k na dráze d transformovala v tepelnou energii. Tepelnou energii však už nemůžeme převést působením třecí síly zpět na kinetickou energii kvádru. Takovou sílu označujeme jako **nekonzervativní sílu**.

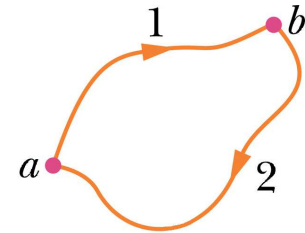
Výpočet práce vykonané silou po zakřivené dráze.

Práce síly působící po obecné dráze mezi místy a a b : W_{ab}

Práce síly působící po obecné dráze mezi místy b a a : W_{ba}

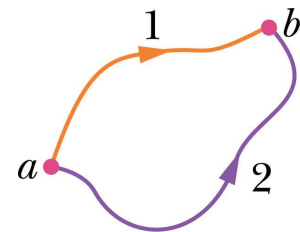
Jestliže je působící síla konzervativní, pak práce vykonaná takovou silou po **uzavřené dráze** je nulová:

$$W_{\text{net}} = W_{ab,1} + W_{ba,2} = 0 \rightarrow W_{ab,1} = -W_{ba,2}$$



To znamená, že práce konzervativní síly **nezávisí na dráze** po níž síla působí. Práce síly $\mathbf{F}$ vykonaná po dráze 1, ($W_{ab,1}$) a po dráze 2 ($W_{ab,2}$), mezi body a a b je stejně velká :

$$W_{ab,1} = W_{ab,2}$$



Gravitační potenciální energie.

Uvažujme hmotnou částici pohybující se vertikálně ve směru osy y z místa y_i do místa y_f . Na částici působí tíha, která konáním práce mění potenciální energii systému hmotná částice-Země. Změna potenciální energie je dána výpočtem:

Velikost síly: $F = -mg$

Změna potenciální energie je dána rovnicí:

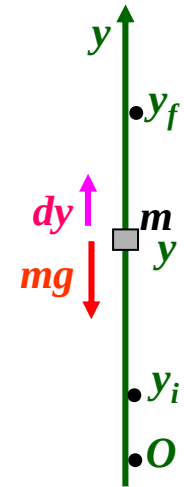
$$\Delta U = mg(y_f - y_i) = mg\Delta y$$

Přejdeme k označení $y_f \rightarrow y$ neboť bod y_f lze zvolit na ose y libovolně, potom potenciální energie hmotné částice v bodě y je:

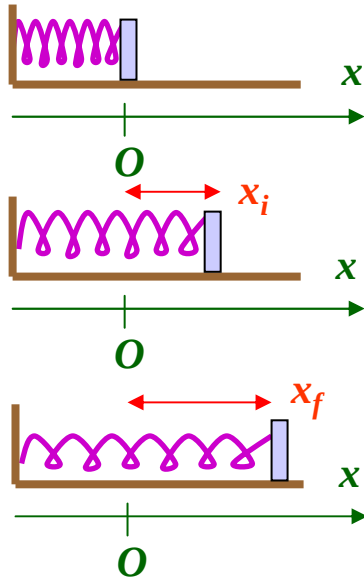
$$U(y) \rightarrow U(y) - U_i = mg(y - y_i)$$

Jelikož smysluplné jsou pouze změny potenciální energie můžeme y_i a tedy U_i volit libovolně. Obvykle klademe $y_i = 0$ a tedy i $U_i = 0$ což dává:

$$U(y) = mgy$$



Potenciální energie pružnosti



Těleso hmotnosti m připevněné k pružině se pohybuje v důsledku rozpínání pružiny z bodu o souřadnici x_i do bodu o souřadnici x_f . Síla pružnosti koná při posouvání tělesa práci W a mění tak potenciální energii systému pružina hmotné těleso o ΔU :

$$\Delta U = -W \rightarrow \Delta U = \frac{1}{2} kx_f^2 - \frac{1}{2} kx_i^2$$

Jelikož souřadnice bodu x_f může být libovolná platí: $\Delta U = U(x) - U_i = \frac{1}{2} kx^2 - \frac{1}{2} kx_i^2$

Fyzikální význam mají pouze změny potenciální energie můžeme tedy volit x_i a U_i libovolně. Obvykle se volí $x_i = 0$ a $U_i = 0$. Pak dostaneme pro potenciální energii pružnosti vztah:

$$U(x) = \frac{1}{2} kx^2$$

Zachování mechanické energie.

Celkovou mechanickou energii izolovaného systému definujeme jako součet potenciální a kinetické energie:

$$E_{mech} = E_{kin} + E_{pot}$$

Předpokládejme, že na mechanický systém nepůsobí žádná vnější síla, všechny vnitřní síly jsou konzervativní. Práce vykonaná působením vnitřní síly na objekt systému změní kinetickou energii $\Delta E_{kin} = W$ a potenciální energii $E_{pot} = -W$ objektu. Z porovnáním obou rovnic vyplývá rovnice:

$$\Delta E_{kin} = -\Delta E_{pot} \rightarrow E_{kin2} - E_{kin1} = -(E_{pot2} - E_{pot1})$$

$$E_{kin1} + E_{pot1} = E_{kin2} + E_{pot2}$$

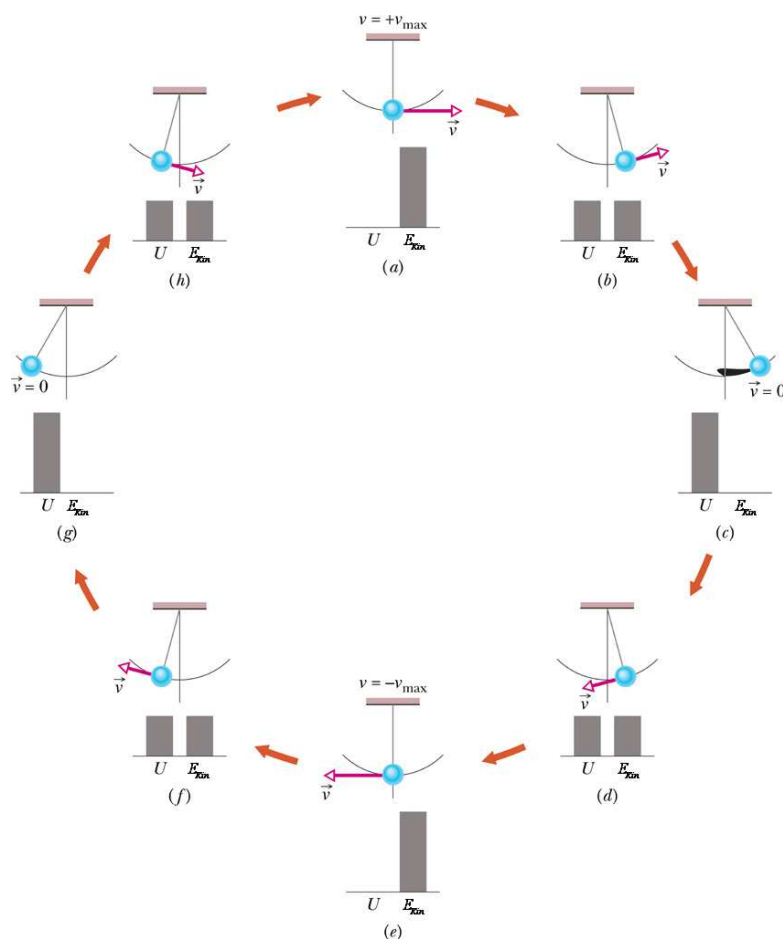
Tento vztah je formulací **zákona zachování mechanické energie**; přeformulováním vztahu dostaneme:

$$\Delta E_{mech} = \Delta E_{kin.} + \Delta U_{Pot.} = 0$$

Pro změnu mechanické energie izolovaného systému, v němž je působící síla součtem konzervativních a nekonzervativních sil platí následující vztah:

$$\Delta E_{\text{mech}} = W_{nc}$$

W_{nc} je práce vykonaná působením nekonzervativních sil.



Příkladem mechanického systému splňujícího zákon zachování mechanické energie je systém kyvadla hmotnosti m kývajícího se v prostředí zemské gravitace.

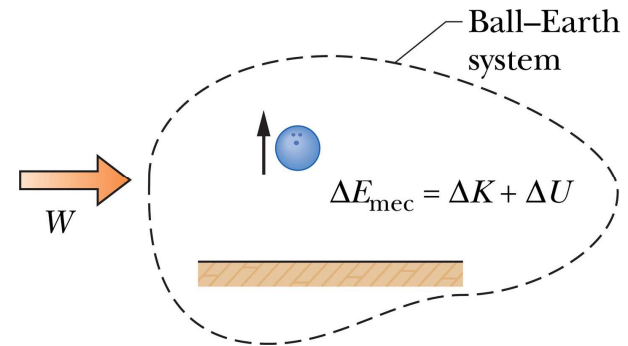
Celková mechanická energie systému kývající se kyvadlo-gravitace je konstantní. Při kývání kyvadla se celková energie E postupně přerozděluje mezi potenciální E_{pot} a kinetickou energii E_{kin} .

V nejvyšším bodě trajektorie je potenciální energie nulová. Kinetická energie je maximální v poloze **a** a **e** (potenciální energie je minimální). Potenciální energie je maximální v poloze **c** a **g** (kinetická energie je zde minimální).

Práce vykonaná vnějšími silami na mechanickém systému

Uvažme mechanický systém, například bowlingovou kouli v prostředí zemské gravitace. Koule-země je uzavřený systém.

Síla, kterou působí na bowlingovou kouli hráč, je vnější síla. Tato vnější síla změní pohybový stav koule, vykoná mechanickou práci a změní tak její mechanickou energii. Celková mechanická energie systému na nějž působí vnější síla pak již není konstantní :



$$W = \Delta E_{\text{mech}} = \Delta K + \Delta U \neq \text{konstanta}$$