6.4 POTENCIALNA ENERGIJA

Potencialna energija (W_p, kratica *PE*) je izraz, ki ga v osnovni šoli povezujemo z "dvignjenimi telesi". Tedaj ste se učili tudi, da se med dviganjem telesom potencialna energija povečuje, med spuščanjem oz. padanjem pa zmanjšuje (diapozitiv 2).

Ko torej govorimo o potencialni energiji, imamo ponavadi v mislih energijo teles, ki so dvignjena nad zemeljsko površje. Pojem "potencialen" je v rabi tudi sicer in pomeni skrite zmožnosti, ki se lahko pokažejo ali razvijejo v določenih okoliščinah. Raba tega pojma v zvezi z energijo dvignjenih teles kaže, da imajo energijo, ki jo prvi hip ni mogoče opaziti, se pa pokaže takrat, kadar se telesom zmanjša višina. Tako voda za visokim jezom poganja turbine v nižje ležeči elektrarni (diapozitiv 1), dvignjena železna klada ob spustu zabije kol globlje v tla in podobno. V omenjenih zgledih telesa na račun svoje potencialne energije **oddajo delo, ki ga opravlja teža telesa**. Pogosto se potencialna energija dvignjenih teles izkaže ob škodi, ki jo naredijo, ko padejo z višine. Lastniki avtomobilov se bojijo škode, ki jo povzročita sneg in led, ko se vsuje-ta s strehe. Še hujšo škodo naredijo zemeljski in snežni plazovi, ko se sprožijo s strmih pobočij (diapozitivi 3-5). Radi rečemo, da se potencialna energija *sprosti,* ko se telo spusti z dvignjene lege.

Vidimo, da je potencialna energija povezana z delom sile teže. V enačbi za izrek o kinetični energiji $A = \Delta W_k$ je v delu A zajeto delo vseh sil, ki delujejo na telo. Pri gibanju v vodoravni smeri je delo teže enako nič in enačba zadošča. Pri gibanju v navpični ravnini pa se izkaže koristno, če delo teže telesa izločimo iz celotnega dela in ga obravnavamo posebej kot obliko energije. Teža namreč deluje na vsa telesa na Zemlji. Prosto telo pod vplivom teže $\vec{F}_g$ pada enakomerno pospešeno s težnim pospeškom $\vec{g}$. Hitrost $\vec{v}$ med padanjem narašča in z njo kinetična energija W_k telesa, ker teža med padanjem opravlja delo.

Delo sile teže označimo z $\boldsymbol{A_g}$. Vzemimo, da se točkasto telo – torej takšno, katerega velikost je zanemarljiva v primerjavi z opazovanimi premiki – premakne iz začetne lege z višinsko koordinato z_1 v novo lego z višinsko koordinato z_2 (koordinato z, v matematiki jo imenujemo *aplikata*, običajno merimo od spodaj navzgor). Če je $z_2 > z_1$, se telo giblje navzgor, za $z_2 < z_1$ pa navzdol.

Med gibanjem navzdol opravlja teža pozitivno delo (ker ima smer premika), med gibanjem navzgor pa negativno (ker ima sila smer, ki je nasprotna kot premik).

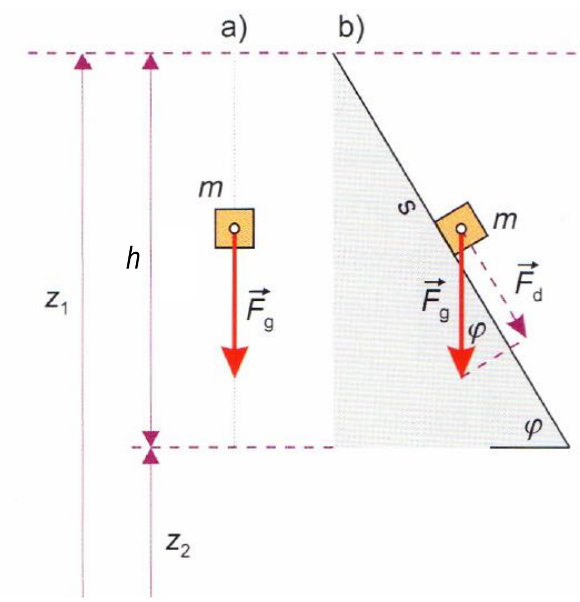
Če se telo giblje navpično navzdol (slika 1a, diapozitiv 6), ima teža $\vec{F}_g = m\vec{g}$ smer premika, zato je njeno delo kar produkt celotne teže in poti:

$$A_g = F_g\, h = mgh.$$

Tu je $h = z_1 - z_2$ **višinska razlika** obeh leg.

Če se telo spušča poševno navzdol, na primer po klancu z naklonskim kotom φ (slika 1b), upoštevamo le delo komponente teže v smeri klanca (dinamične komponente teže): $F_d = F_g \sin\varphi = mg \sin\varphi$. Na dolžini klanca s teža tedaj opravi delo:

$$A_g = F_d \cdot s = mg \sin\varphi \cdot s = mg \cdot \frac{h}{s} \cdot s = mgh\,.$$



Slika 1

Vidimo, da je tudi pri poševnem spustu delo teže enako kot pri prostem padu, če je le višinska razlika h enaka. Ker v končni enačbi za gibanje po klancu ni kota, velja to za vsak klanec, to je za poljuben način gibanja po klancu. ***Delo teže je torej odvisno le od višinske razlike med začetno in končno lego, nič pa od poti, po kateri se giblje.***

Delo teže in sprememba potencialne energije

Pri gibanju navzgor je delo teže negativno (ker ima teža nasprotno smer kot premik). Delo teže pri prehodu telesa z maso m iz lege z višinsko koordinato z_1 v lego z višinsko koordinato z_2 je ne glede na obliko oziroma vrsto prehoda enako:

$$A_g = mgh = mg\,(z_1 - z_2) = mgz_1 - mgz_2 = (mgz)_1 - (mgz)_2$$

Delo teže je enako razliki med začetno in končno vrednostjo količine mgz. Ker delo spreminja energijo telesa, je očitno tudi količina mgz neka oblika energije. Ta oblika mehanske energije ni tako vidna kot kinetična. Že v uvodu smo povedali, da taki vrste energije rečemo potencialna energija. Če je posledica dela teže, je to ***težnostna (gravitacijska)* potencialna energija** telesa in jo izrazimo:

$$\boxed{W_p = mgz}$$

Splošno velja, da je sprememba katere od količin razlika med njeno končno in začetno vrednostjo, zato je sprememba potencialne energije $\Delta W_p = W_{p2} - W_{p1} = mgz_2 - mgz_1$ pri gibanju navzgor pozitivna in pri gibanju navzdol negativna. Pozitivna sprememba potencialne energije je enaka negativnemu delu teže:

$$A_g = W_{p1} - W_{p2}.$$

Delo teže lahko **nadomestimo s spremembo potencialne energije**:

$$\boxed{A_g = -\Delta W_p}$$

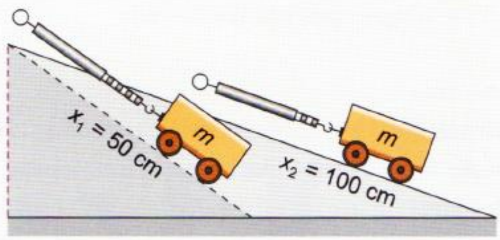
Kadar višinska koordinata z narašča (kot je to pri dviganju telesa navzgor), narašča potencialna energija telesa; kadar se višinska koordinata z zmanjšuje, se zmanjšuje njegova potencialna energija. Privzemimo še, da se pri zmernih višinah h, to je višinah, ki so znatno manjše od polmera Zemlje, težni pospešek g zaznavno ne spremeni.

Sile, katerih delo je odvisno le od začetnega in končnega stanja, ne pa od vmesne poti, se imenujejo **konservativne**. Tedaj lahko začetnemu ter končnemu stanju *pripišemo potencialno energijo*, katere razlika ustreza delu te sile. Razen gravitacijske sile oz. teže sta zgleda konservativnih sil tudi sila vzmeti in električna sila. Če je opravljeno delo sile odvisno tudi od vmesne poti, sila ni konservativna in dela take sile ne moremo opisati s spremembo ustrezne potencialne energije. Takšna sila je npr. sila trenja, katere delo je vedno negativno, saj trenje vedno nasprotuje premiku.

Hoja v hrib je lažja, če se vzpenjamo po položnejši poti, čeprav je ta daljša. Tudi hoja po stopnicah je lažja, če so stopnice nižje, čeprav jih moramo za isto višino prehoditi več. Nakladanje težkih sodov ali drugih bremen si olajšamo tako, da jih kotalimo po nagnjeni deski. Pripomoček, s katerim spravimo breme na izbrano višino po poševni poti, je *klanec* (slika 2). Uporabljali so ga že Egipčani pri gradnji piramid. Namen klanca je, da se zmanjša sila, ki je potrebna za potiskanje. Dela pa ne moremo zmanjšati. Sila je namreč tolikokrat manjša, kolikorkrat daljša je pot po klancu. Produkt obojega je nespremenjen in enak spremembi potencialne energije.

Če vlečemo po različno dolgih klancih vozička z zanemarljivim trenjem, ugotovimo, da je delo v obeh primerih enako produktu teže telesa $\vec{F}_g$ in višinske razlike h med začetno in končno lego telesa:

$$A = F' x_1 = F'' x_2 = F_g \sin\varphi_1 x_1 = F_g \sin\varphi_2 x_2 = F_g \frac{h}{x_1} x_1 = F_g \frac{h}{x_2} x_2 = F_g h$$

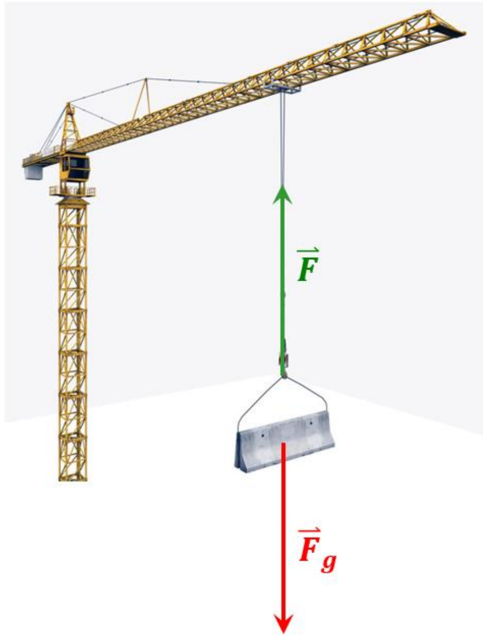


Da voziček z zanemarljivim trenjem s stalno silo potegnemo po klancu navzgor po daljši poti, opravimo enako delo, kot če ga potegnemo po krajši poti, a je na krajši poti potrebna večja sila.

Slika 2

Izrek o potencialni energiji

Poglejmo žerjav, ki s stalno hitrostjo dviguje tovor (slika 3). Pri dvigu tovora je sila vrvi $\vec{F}$ v ravnovesju s težo tovora $\vec{F}_g$, zato je vsota sil, ki delujejo na tovor, enaka nič. Pri premiku tovora navzgor je pozitivno delo sile vrvi ravno enako negativnemu delu teže, skupno delo, ki ga sile opravijo, pa je enako nič. Podobno lahko sklepamo za premik tovora navzdol, ko je delo teže pozitivno, delo sile vrvi pa negativno, skupno delo pa je tudi tokrat enako nič. Videti je, da za dvig ali spust tovora žerjavu ni potrebno opraviti dela. Voznik žerjava pa ve, da vrv opravlja delo tako pri dvigu kot pri spustu tovora.



Slika 3

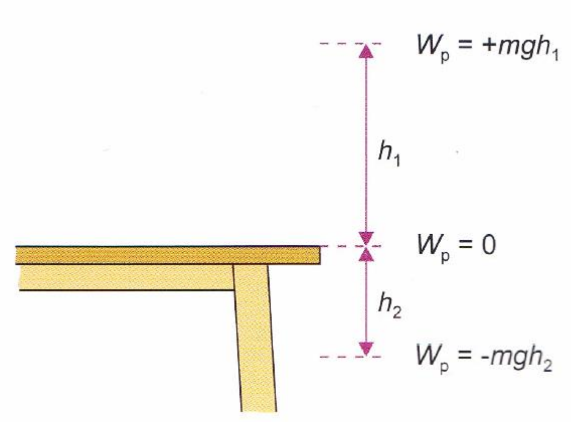
Kot smo videli, mora pri dvigu tovora sila vrvi opraviti delo A. Delo vseh sil je:

$$A + A_g = 0 \quad \rightarrow \quad A + (-\Delta W_p) = 0 \quad \rightarrow \quad \boxed{\boldsymbol{A = \Delta W_p}}$$

Na levi strani zadnje enačbe je vsota del vseh sil, razen teže, delo teže je zajeto v spremembi potencialne energije, ki je na njeni desni strani. Enačba je ***izrek o potencialni energiji:*** **delo vseh sil, razen teže, je enako spremembi potencialne energije.**

Poznamo le spremembo potencialne energije med prehodom telesa iz ene lege v drugo. Kolikšna je njena absolutna vrednost na določeni višini, pa je odvisno od izbire koordinatnega izhodišča $z = 0$. Izbira izhodišča ni pomembna, ker je delo teže določeno le z razliko koordinat. Ta izbira je povsem poljubna, zato se odločimo tako, da imamo pri razmišljanju ali računanju najmanj težav. Ko pa je izhodišče izbrano, moramo potencialno energijo teles dosledno računati glede na to izhodišče. Če se npr. odločimo, da je potencialna energija nič na tleh prvega nadstropja, imajo telesa v pritličju in v kleti negativno, telesa nad višino tal v prvem nadstropju pa pozitivno potencialno energijo. **Potencialna energija telesa ima lahko torej tudi negativno vrednost.**

Če npr. obravnavamo gibanje telesa glede na površino mize, se je najbolje dogovoriti, da je potencialna energija nič na višini mize (slika 4). Nad mizo je potem potencialna energija pozitivna, pod mizo pa negativna. Na višini h_1 nad mizo je potencialna energija enaka mgh_1, na globini h_2 pod mizo pa $-mgh_2$; razlika med njima je torej $mgh_1 - (-mgh_2) = mg(h_1 + h_2)$. Razlika potencialnih energij med dvema legama je torej neodvisna od tega, kje je potencialna energija telesa enaka nič. Če telo dvignemo s tal na mizo, je sprememba njegove potencialne energije enaka mgh, kjer je h višina mize, ne glede na to, ali so tla, na katerih miza stoji, na višini morja ali pa visoko v gorah.



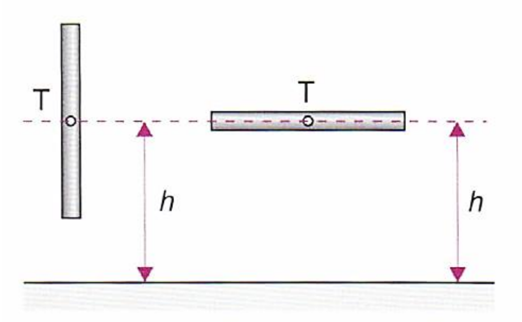
Slika 4

Računali smo potencialno energijo majhnega telesa, katerega višino lahko takoj določimo. Pri razsežnem telesu pa se pojavi vprašanje, do kod naj merimo njegovo višinsko koordinato z; do spodnjega roba telesa, do zgornjega, ali morda do njegove sredine?

Ko iščemo spremembo potencialne energije telesa, računamo delo teže telesa ob spremembi. Vemo pa, da teža vpliva na gibanje telesa tako, kot bi bila vsa njegova masa zbrana v njegovem težišču. Odločilen je torej **premik težišča** telesa. Če se težišče telesa ne premakne, je delo teže nič, četudi se morda telo zavrti okrog poljubne osi skozi težišče. Torej **potencialno energijo telesa določa višinska koordinata njegovega težišča** (označimo s T):

$$W_p = mgz_\mathrm{T}$$

Na sliki 5 ima pokončna palica enako potencialno energijo kot vodoravna, ker imata njuni težišči T enako višinsko koordinato. Če se telo kakorkoli zavrti okrog poljubne osi skozi težišče, se njegova potencialna energija ne spremeni.



Slika 5

○ ***Naloga 54:*** Železna krogla z gostoto ρ = 7,8 g/cm^3 in s polmerom r = 5,0 cm leži na tleh. Kolikšna je njena potencialna energija, če se dogovorimo, da je potencialna energija na višini, kjer se krogla dotika tal, enaka nič?

● Najprej izračunamo maso krogle:

volumen krogle: $V = \frac{4}{3}\pi r^3$

$$V = \tfrac{4}{3}\pi r^3 = \tfrac{4}{3}\pi\cdot(5{,}0\,\mathrm{cm})^3 = \underline{523{,}6\,\mathrm{cm}^3}$$

$$m = \rho V = 7{,}8\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}\cdot 523{,}6\,\mathrm{cm}^3 = 4084\,\mathrm{g} = \underline{4{,}084\,\mathrm{kg}}$$

Težišče krogle je na višini r nad tlemi, zato je potencialna energija krogle:

$$W_p = mgz_\mathrm{T} = mgr = 4{,}084\,\mathrm{kg}\cdot 10\,\tfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\cdot 0{,}050\,\mathrm{m} = \underline{\underline{2{,}0\,\mathrm{J}}}$$

○ ***Naloga 51:*** Za koliko je potencialna energija kamna z maso m = 0,50 kg na vrhu h = 50 m visokega nebotičnika večja kot pri tleh?

● Iščemo razliko potencialnih energij: $\Delta W_p = mgh = 0{,}50\,\mathrm{kg}\cdot 10\,\tfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\cdot 50\,\mathrm{m} = \underline{\underline{250\,\mathrm{J}}}$

Kolikšna pa je potencialna energija pri tleh, če se dogovorimo, da je na vrhu nebotičnika nič?

$$W_{p\ (\text{ob tleh})} = mgz = mg(-h) = -mgh = \underline{\underline{-\,250\ \mathrm{J}}}$$

○ Tanek d = 8,0 m dolg homogen drog v obliki valja z maso m = 60 kg leži na tleh. Koliko dela opravimo, ko ga dvignemo navpično?

● Delo, ki ga moramo opraviti, je enako spremembi potencialne energije: $A = \Delta W_p$.

Drog je veliko, razsežno telo, zato je za spremembo potencialne energije pomembna sprememba višine njegovega težišča:

$$\Delta W_p = mgh_\mathrm{T}.$$

Ker je drog tanek, je na začetku višina težišča glede na tla zanemarljiva, ko pa drog postavimo navpično, je težišče od tal oddaljeno za polovico dolžine droga. Od tod je sprememba višine težišča droga:

$$h_\mathrm{T} = \tfrac{1}{2}d - 0 = \tfrac{1}{2}\cdot 8{,}0\ \mathrm{m} = \underline{4{,}0\ \mathrm{m}}$$

Spremembo višine težišča vstavimo v enačbo za delo in izračunamo:

$$A = mgh_\mathrm{T} = 60\,\mathrm{kg}\cdot 10\,\tfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\cdot 4{,}0\,\mathrm{m} = 2400\,\mathrm{J} = \underline{\underline{2{,}4\,\mathrm{kJ}}}$$