

6. DELO IN ENERGIJA

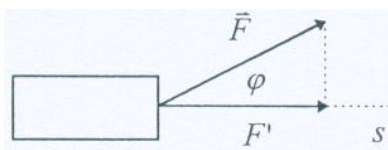
6.1 Kandidat naj zna definirati delo in moč in uporabiti definicijo pri računskih primerih

Sila opravlja delo, kadar se telo pod njenim vplivom premika. Če se telo premakne v smeri sile F za s , opravi sila F delo $A = F \cdot s$. Enačba velja, če je sila med opravljanjem stalna.

Enota za delo je produkt enot za silo in pot, imenujemo jo *joule* (J):

$$1 J = 1 N \cdot 1 m = 1 kgm^2/s^2$$

Če sila ne deluje v smeri premika, opravlja delo le njena komponenta v smeri gibanja. Delo vselej računamo kot produkt med premikom telesa in komponento sile v smeri premika. Enak rezultat dobimo tudi, če množimo silo s komponento premika v smeri sile.



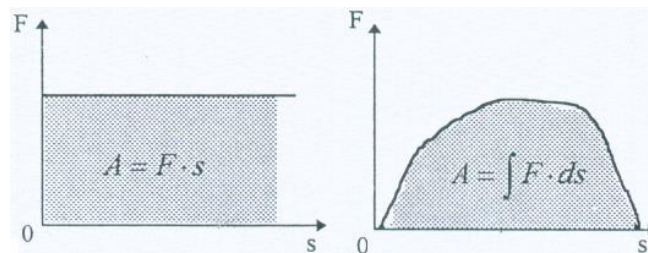
$$A = F' \cdot s = F \cdot s \cdot \cos\varphi$$

Splošnejša definicija dela:

$$\text{Delo sile je skalarni produkt sile in poti: } A = \vec{F} \cdot \vec{s} = F \cdot s \cdot \cos\varphi$$

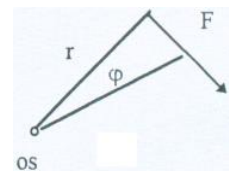
Če sila ni stalna, računamo delo s srednjo (povprečno) silo, še boljše pa z integralom:

$$A = \int F \cdot ds$$



Ploščina lika med grafom $F(s)$ in abscisno osjo je merilo za opravljeno delo na določeni poti. V primeru, da se telo pod vplivom sile F zavrti za kot φ , je sila opravila delo:

$$A = F \cdot s = F \cdot r \cdot \varphi = M \cdot \varphi$$



Razmerje med delom in časom, ki je za delo potreben, imenujemo moč: $P = \frac{A}{t}$.

Enota za moč je enaka kvocientu med enoto za delo in enoto za čas, imenuje se vat (W).

$$1 W = 1 J/s = 1 kgm^2/s^3$$

Gornja definicija velja za primer, ko se delo opravlja enakomerno. Če se delo opravlja neenakomerno, dobimo po gornji enačbi srednjo moč.

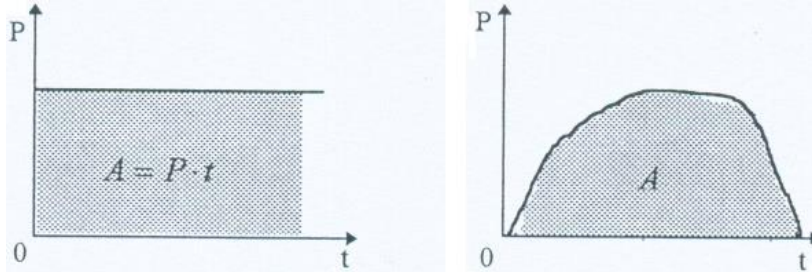
$$\text{Trenutno moč definiramo kot } P = \frac{dA}{dt}$$

Če se telo pod vplivom sile F premika s hitrostjo v , je moč sile $P = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot v$, kjer smo upoštevali, da je kvocient s/t enak hitrosti telesa.

Če v enačbo $P = F \cdot v$ vstavimo trenutno hitrost, dobimo trenutno moč.

Moč pri vrtenju: $P = \frac{A}{t} = \frac{M \cdot \varphi}{t} = M \cdot \omega$. Upoštevali smo, da je kvocient φ/t enak kotni hitrosti vrtenja. Opravljeno delo lahko izračunamo, če poznamo moč in čas opravljanja dela: $A = P \cdot t$. Enota, ki sledi iz te enačbe za delo je 1 Ws. Če vstavimo moč v kW, čas pa v urah, dobimo opravljeno delo v kWh.

Velja: $1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$



Ploščina lika med grafom $P(t)$ in abscisno osjo je merilo za opravljeno delo.

Delo pogosto opravljamo z orodji ali stroji. Običajno z uporabo orodja zmanjšamo silo, ki je potrebna za opravljanje dela, zato se pa pot ustrezno podaljša. Pomembno je spoznanje, da je delo, ki ga opravimo, neodvisno od uporabe orodja (stroja).

6.2 Kandidat naj zna zapisati izraz za kinetično energijo pri translacijskem gibanju

Beseda energija označuje sposobnost opravljanja dela. Telo, ki ima energijo, lahko opravi delo. Energija je zaloga dela.

Če nas zanima, koliko energije ima neko telo, moramo ugotoviti, koliko dela lahko opravi.

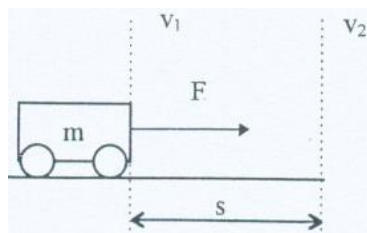
Enota za energijo je joule (J): $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$.

Kinetična energija je energija, ki jo ima telo, ker se giblje. Translacijsko kinetično energijo

telesa izračunamo po enačbi: $W_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$

Telo je kinetično energijo dobilo, ko je sila med pospeševanjem opravljala delo.

Opazujemo telo, ki se giblje premo s hitrostjo v_1 . Nanj začne delovati stalna sila F v smeri gibanja. Sila deluje na razdalji s . Po prenehanju delovanja sile ima telo hitrost v_2 .



Stalna sila povzroči enakomerno pospešeno gibanje telesa. Delo sile F (lahko rezultante) pri pospeševanju je:

$$A = F \cdot s = ma \cdot s = \frac{m(v_2 - v_1)}{t} \cdot \frac{v_2 + v_1}{2} \cdot t = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$$

Enačba izraža izrek o kinetični energiji telesa: **Delo rezultante zunanjih sil je enako spremembi kinetične energije telesa.**

V splošnem pomeni F rezultanto vseh zunanjih sil, njena smer je lahko poljubna. Pomembno je, da je delo A neodvisno od tega, kaj se je dogajalo s telesom med pospeševanjem, pomembna je le začetna in končna hitrost. Krajše zapišemo:

$$A = W_{k2} - W_{k1} \quad \text{ali} \quad A = \Delta W_k$$

Končna kinetična energija je enaka vsoti začetne kinetične energije in prejetega dela:

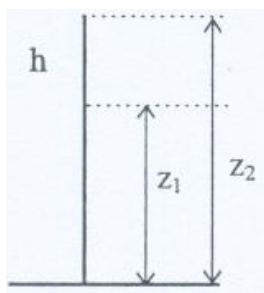
$$W_{k2} = W_{k1} + A$$

6.3 Kandidat naj zna zapisati izraz za potencialno energijo v homogenem težnem polju

Potencialno energijo imajo dvignjena telesa. Telo dobi potencialno energijo na račun sile, ki opravlja delo pri dviganju. Teža pri dviganju opravlja negativno delo. Sprememba potencialne energije telesa je enaka negativnemu delu teže. Pri dviganju telesa je delo teže negativno, zato se potencialna energija povečuje.

Če dvignemo telo za h : $\Delta W_p = -(-F_g \cdot h) = mgh$.

Potencialno energijo sistema teles ali netočkastega telesa izrazimo z višino težišča. Dogovoriti se je potrebno za nivo, na katerem je potencialna energija enaka nič. Na višini z nad izbranim nivojem je potencialna energija telesa: $W_p = mgz$.



Sprememba potencialne energije pri dviganju z višine z_1 na višino z_2 pa:
 $\Delta W_p = mgz_2 - mgz_1$.

Izrek o kinetični in potencialni energiji:

$$F \cdot s = \left(\frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} \right) + (mgz_2 - mgz_1)$$

Delo zunanjih sil razen sile teže je enako spremembi kinetične in potencialne energije telesa. Velja za togo telo.

Če zunanjih sil razen teže ni ali pa ne opravljajo dela, se vsota kinetične in potencialne energije med gibanjem ne spreminja. Pravimo, da se vsota kinetične in potencialne energije ohranja (mehaniška energija).

Primeri: prosto padanje, gibanje po klancu če ni trenja (na telo deluje poleg teže še sila klanca, ki je pravokotna na premik in ne opravlja dela), nihanje nitnega nihala, če zanemarimo upor zraka.

Izraz za potencialno energijo mgz ali spremembo potencialne energije mgh velja, če gre za majhne višinske razlike, znotraj katerih smemo predpostaviti, da je g približno konstanten.

6.4 Kandidat naj zna zapisati izraz za prožnostno energijo vzmeti

Prožnostno energijo imajo napeta ali stisnjena telesa. Pridobijo si jo na račun dela sil, ki povzročijo deformacijo.

Delo pri deformaciji vzmeti je: $A = \bar{F} \cdot s = \frac{F}{2} \cdot s = \frac{k \cdot s}{2} \cdot s = \frac{ks^2}{2}$, kjer je k koeficient vzmeti, s

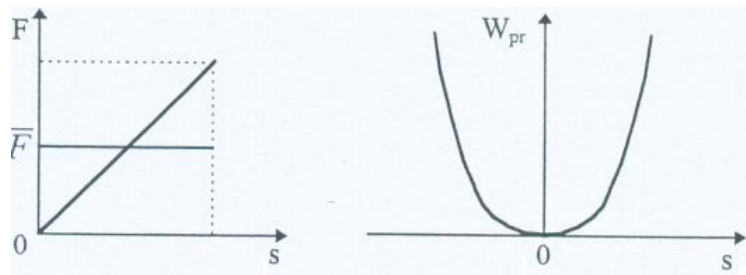
pa raztezek. Upoštevali smo, da za raztezanje vzmeti velja Hookov zakon: $F = k \cdot s$ in da sila med raztezanjem vzmeti ni stalna. Nadomestimo jo s povprečno silo. Delo pri raztezanju vzmeti je naloženo v njeno prožnostno energijo, ki jo lahko vzmet pri sprostitvi vrne:

$$W_{pr} = \frac{ks^2}{2}.$$

Drugi način: $F = \int F \cdot ds = \frac{ks^2}{2}$.

Delo pri raztezanju vzmeti lahko izračunamo tudi kot ploščino trikotnika med grafom $F(s)$ in abscisno osjo. G

Graf, ki kaže odvisnost prožnostne energije od raztezka, je slika kvadratne funkcije (parabola).

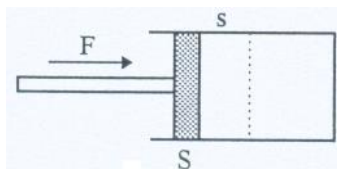


Prožnostno energijo vključimo v izrek o kinetični in potencialni energiji, ko imamo opraviti s prožnimi telesi ali s telesi, ki jih povezujejo prožnostne sile. Prožnostna energija je vrsta notranje energije. Izpopolnjeni izrek se glasi: $A = \Delta W_k + \Delta W_p + \Delta W_{pr}$.

Delo zunanjih sil brez teže je enako skupni spremembi kinetične, potencialne in prožnostne energije telesa. Če zunanje sile ne opravijo dela, je vsota kinetične, potencialne in prožnostne energije konstantna.

6.5 Kandidat naj zna uporabiti izrek o kinetični, potencialni in prožnostni energiji pri obravnavi gibanja.

6.6 Kandidat naj zna izpeljati in uporabiti izraz za delo tlaka



Kadar s pumpo napihujemo zračnico ali potiskamo vodo v zbiralnik, potiskamo bat z neko silo in zato opravljamo delo. To delo računamo tako kot doslej: silo množimo s potjo. Recimo da potiska bat na tekočino v pumpi s stalno silo F in da se premakne za pot s . Opravljeno delo je $A = F \cdot s$.

Pri tekočinah raje računamo s tlakom kot s silami. Zato upoštevamo, da je $F = p \cdot S$, kjer je S presk bata. Tako je $A = p \cdot S \cdot s$. Zapisani produkt predstavlja prostornino valja z osnovno ploskvijo S in višino s . Ta valj je bil prvotno izpolnjen s tekočino, dokler je bat ni izrinil. Zato označimo $S \cdot s = \Delta V$. Sledi torej:

$$A = p \cdot \Delta V.$$

Delo tlaka je enako produktu tlaka, ki vlada pod batom in prostornine izrinjene tekočine. To velj, če je tlak p konstanten. Kadar pa je p spremenljiv, velja gornja enačba le za majhne spremembe:

$$dA = p \cdot dV.$$

Celotno delo torej dobimo spet s seštevanjem:

$$A = \int p \cdot dV.$$

Pri pumpah navadno ne vprašamo za delo, ki ga bat odda tekočini, ampak za delo, ki ga mi opravimo s pritiskanjem bata. Pri tem je potrebno upoštevati, da delujejo na bat še druge sile, predvsem sila zaradi zračnega tlaka in sila trenja. Če ne bi bilo trenja, bi morali poiskati bat s silo, ki ustreza razliki obeh tlakov. Da dobimo delo te sile, vstavimo v gornjo enačbo namesto p razliko obeh tlakov, torej:

$$A = \Delta p \cdot \Delta V.$$

V resnici je opravljeno delo večje, ker je potrebno premagati še silosilo trenja.

6.7 Kandidat naj zna zapisati relativistično zvezo med maso in energijo in jo vključiti v ohranitveni zakon za energijo in maso.

Po posebni teoriji relativnosti je vseaka sprememba energijetelesa povezana s spremembo masa. Pri tem velja:

$$\Delta W = \Delta m \cdot c^2,$$

kjer je c svetlobna hitrost v praznem prostoru: $c = 299729458 \text{ m/s} \cong 300\,000 \text{ km/s}$.

Pri energijskih spremembah, ki jih poznamo iz vsakdanjega okolja, je sprememba mase, ki je povezana s spremembami energije, tudi z najobčutlivejšimi merilnimi metodami, nemrljiva.

Lastna energija delca z maso m je: $W_0 = m \cdot c^2$. Lastna energija delca, ki ima maso enako atomski enoti mase u , je enaka 931,4 MeV. Lastna energija elektrona je 0,51 MeV.

V relativnostni energiji je polna energija telesa enaka vpoti njegove lastne energije in kinetične energije: $W = W_0 + W_k$.

Ker se vsaka sprememba energija odraža na spremembi mase, vključimo v energijski zakon še lastno energijo telesa. Telesu ali sistemu teles, ki izmenjujejo z okolico delo, toploto ali svetlobo, se spreminja polna energija. Pri tem je sprememba polne energije enaka vsoti izmenjanega dela, toplote in svetlobe. Z enačbo zapišemo:

$$A + Q = \Delta W = \Delta(W_0 + W_k),$$

pri čemer naj Q predstavlja izmenjavo toplote in svetlobe. Pri sistemu, kije ločen od okolice, je polna energija konstantna:

$$W = W_0 + W_k = konst.$$

Mnogo zgledov za veljavnost splošnega energijskega zakona najdemo pri fiziki jedra in osnovnih delcev.

Jedrske reakcije:

Kinetične energije izstrelka, ki prileti v jedro ne moremo zanemariti. Ker jedro pred reakcijo še naprej miruje, je skupna kinetična energija pred reakcijo enaka kinetični energiji izstrelka W_{k1} . Skupna lastna energija izstrelka in jedra pred reakcijo je $m_1 c^2$, W_{k2} skupna kinetična energija in $m_2 c^2$ skupna lastna energija delcev poreakciji. Velja:

$$W_{k1} + m_1 \cdot c^2 = W_{k2} + m_2 \cdot c^2.$$