3 Merjenje gibalne količine, energije in temperature

3.1 Merjenje gibalne količine pri trkih

Če je rezultanta zunanjih sil enaka nič, je sunek sile enak nič in gibalna količina se ohranja. Če sta v sistemu dve telesi z masama m_1 in m_2, se pri trku njuna skupna gibalna količina ohranja. Izrek o *ohranitvi skupne gibalnih količin* zapišemo kot

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2', \tag{1}$$

pri čemer pomenita $\vec{v}_1$ in $\vec{v}_2$ hitrosti teles pred trkom in $\vec{v}_1'$ in $\vec{v}_2'$ hitrosti teles po trku.

Postopek merjenja Z roko ali s sprožilcem suni enega od vozičkov v drugi mirujoči voziček, ki je postavljen med svetlobna vrata tako, da prvi voziček pred trkom že zapusti svetlobna vrata na svoji strani. (Princip delovanja svetlobnih vrat je opisan v prvem sklopu vaj.) Pri *neprožnem* trku se po trku gibljeta vozička v smeri gibanja prvega vozička pred trkom. Pri *prožnem* trku pa je hitrost prvega vozička po trku odvisna od razmerja mas vozičkov. Svetlobna vrata izmerijo le absolutno vrednost hitrosti, zato moraš njen predznak določiti sam z opazovanjem gibanja vozička.

Rezultat predstavi kot razliko med končno in začetno velikostjo skupne gibalne količine, deljene z velikostjo začetne gibalne količine.

3.2 Ohranitev energije pri kotaljenju

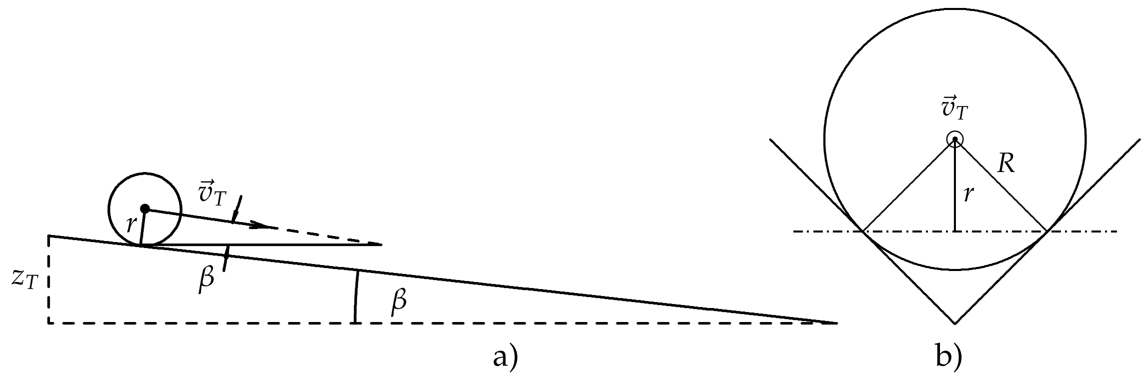
V splošnem ima togo telo lahko *kinetično* in *potencialno energijo*. Kinetična energija je sestavljena iz dveh delov, *translacijske* energije $\frac{1}{2}\, m\, v^2$ in *rotacijske energije* $\frac{1}{2}\, J\, \omega^2$. Sprememba gravitacijske potencialne energije telesa je $\Delta W_p = m\, g\, (z_2 - z_1)$, kjer pomeni $z_2 - z_1$ višinsko razliko težišča togega telesa. Če je vsota vseh zunanjih sil enaka nič, se energija ohranja. To velja tudi, če deluje na sistem le teža. Tedaj velja *izrek o ohranitvi energije*

$$\tfrac{1}{2}\, m\, v_2^2 + \tfrac{1}{2}\, J\, \omega_2^2 + m\, g\, z_2 = \tfrac{1}{2}\, m\, v_1^2 + \tfrac{1}{2}\, J\, \omega_1^2 + m\, g\, z_1. \tag{2}$$

Indeks 2 se nanaša na končni položaj telesa, indeks 1 pa na začetni položaj togega telesa.

Na vrhu klanca telo miruje in ima le potencialno energijo Mgz_T. Po klancu navzdol se kotalečemu se telesu manjša potencialna energija, povečuje pa translacijska kinetična energija težišča $\frac{1}{2} M\, v_T^2$ in rotacijska energija okrog osi skozi težišče $\frac{1}{2} J\, \omega^2$. Če je delo navora lepenja zanemarljivo majhno, lahko računamo, da se ohranja celotna energija teles. Na koncu je potencialna energija enaka 0 in velja

$$M\, g\, z_T = \tfrac{1}{2}\, M\, v_T^2 + \tfrac{1}{2}\, J \omega^2\,. \tag{3}$$



Slika 1: a) Kotaleči se valj na klancu in b) kroglica v žlebu, pogled od spredaj.

Pri valju je hitrost težišča enaka obodni hitrosti težišča pri vrtenju valja okoli osi skozi dotikališče valja s klancem (glej sliko 1 a)): $v_T = \omega\, R$, če z R označimo polmer valja. Vztrajnostni moment valja je $J = \frac{1}{2} M R^2$ in iz (3) dobimo

$$M\, g\, z_T = \frac{1}{2}\, M\, v_T^2 + \frac{1}{4}\, M\, v_T^2 = \frac{3}{4}\, M\, v_T^2\,, \tag{4}$$

od koder sledi

$$v_T = \sqrt{\frac{4 g z_T}{3}}\,. \tag{5}$$

Kroglica se dotika žleba v točkah, prikazanih na sliki 1 b). Os vrtenja je premica skozi ti dve točki in zveza med hitrostjo težišča in kotno hitrostjo je v tem primeru $v_T = \omega\, r$. V (3) vstavimo vztrajnostni moment krogle $J = \frac{2}{5}\, M\, R^2$ in dobimo

$$M\, g\, z_T = \frac{1}{2}\, M\, v_T^2 + \frac{1}{2}\, \frac{2}{5}\, MR^2\, \frac{v_T^2}{r^2} = \frac{9}{10}\, M\, v_T^2\,, \tag{6}$$

pri čemer smo upošteval $2r^2 = R^2$. Od to sledi

$$v_T = \sqrt{\frac{10 g z_T}{9}}\,. \tag{7}$$

Kroglica se kotali enakomerno pospešeno in velja $v_T = at$ in $s = \frac{1}{2}at^2$, če je s dolžina klanca. Iz prve enačbe izrazimo a in dobimo $s = \frac{1}{2}\, v_T t$ oziroma

$$v_T = \frac{2s}{t}\,. \tag{8}$$

Za obe telesi izmerimo višino klanca v začetni legi z_T in čas kotaljenja t na poti s ter primerjamo izmerjeno hitrost iz enačbe (8) z izračunano hitrostjo (5) oz. (7).

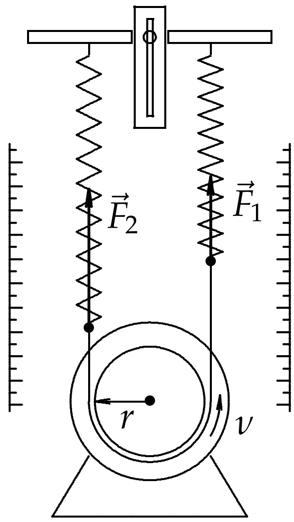
3.3 Pronyjeva zavora

S Pronyjevo zavoro (jarmom) merimo *moč* na osi motorja. Motor prejema *električno moč*, $P_p = P_e = U\,I$, kjer je U napetost, na katero je električni motor priključen, in I tok, ki teče skozi motor. Na gred motorja s Pronyjevim jarmom deluje navor M, ki ga povzročata sili F_1 in F_2 dveh vijačnih vzmeti, povezanih s trakom jarma. Vzmeti sta hkrati tudi silomera. Motor se vrti s kotno hitrostjo $\omega = 2\pi\,\nu$. Navor je enak $M = (F_2 - F_1)\,r$, kjer je r polmer jarma. Tako je *koristna (oddana mehanična) moč* na gredi motorja $P_0 = M\,\omega = (F_2 - F_1) 2\pi\,r\,\nu$.

Izkoristek motorja η, ki ga definiramo kot razmerje koristne (oddane) moči in vložene (prejete) moči, je v našem primeru

$$\eta = \frac{P_o}{P_p} = \frac{(F_2 - F_1) 2\pi\,r\,N}{U\,I\,t}. \tag{9}$$

Pri tem smo zamenjali frekvenco ν s kvocientom N/t, kjer je N število vrtljajev in t ustrezni čas. Ko meritev že nekaj časa teče in se temperatura zaradi hlajenja ne spreminja več, je po energijskem zakonu vloženo delo A_e in oddano delo A_{meh} povezano z oddano toploto Q po enačbi $A_e - A_{meh} - Q = 0$, saj se v ravnovesnem stanju ne spreminja nobena od energij. Toplota, ki jo pri tem pri konstantni temperaturi motor oddaja okolici, je enaka $Q = A_e - A_{meh}$.



Slika 2: Pronyjeva zavora.

Postopek merjenja Pronyjeva zavora ima trak, ki ga vpneš na oba premakljiva silomera. Motor priključiš na napetostni vir. Izmeriš tok in napetost pri izbranih vrtljajih. Z merjenjem števila vrtljajev in časa določiš frekvenco vrtenja gredi motorja, ki skupaj z izmerjenima silama in premerom valja omogočajo izračunati koristno moč navora P_k. Po drugi strani z merjenjem napetosti in toka izmerimo vloženo električno moč $P_e = UI$. Njuno razmerje določa izkoristek elektromotorja.

3.4 Izkoristek elektromotorja

Moč na osi motorja lahko določimo tudi iz dela, ko motor v času t dvigne breme mase m za višinsko razliko Δz, saj velja $P = m\,g\,\Delta z/t$. Razlika teh dveh moči predstavlja toplotni tok, ki pomeni izgubo. Izkoristek motorja pa je

$$\eta = \frac{P_o}{P_d} = \frac{m\,g\,\Delta z}{U\,I\,t}. \tag{10}$$

Postopek merjenja Vloženo električno delo A_e izračunaj kot produkt napetosti, toka in časa, $A_e = UIt$. Čas ustreza potovanju bremena iz spodnje v zgornjo lego Δz, ki ju natanko določi. Pazi, da breme ne udari v motor in po prekinitvi električnega kroga ne zgrmi na tla; zato utež ulovi. Izberi primerno napetost, da se utež počasi in enakomerno dviguje. Koristno mehansko delo pa je enako spremembi potencialne energije $A_m = mg\Delta z$. Njuno razmerje da izkoristek našega dvigala.

3.5 Temperaturno raztezanje kovin

Prostornina trdnine (kapljevine), in v posebnem primeru dolžina trdnine, se lahko spreminja zaradi spremembe *temperature* T. Tedaj govorimo o *temperaturnem* raztezanju. Pri tem moramo zagotoviti konstantne pogoje, kar pomeni, da se ne sme spremeniti katera od drugih količin, npr. *tlak*. **Relativni raztezek** palice dl/l je pri temperaturnem raztezanju trdnin sorazmeren temperaturni spremembi dT:

$$\frac{dl}{l} = \alpha\, dT, \tag{11}$$

kjer sorazmernostni koeficient α imenujemo **temperaturni koeficient dolžinskega raztezka** in je značilna konstanta za snov. Definirana je torej z enačbo

$$\alpha = \frac{1}{l}\frac{dl}{dT}. \tag{12}$$

V omejenem temperaturnem obsegu velja

$$l = l_o(1 + \alpha\Delta T), \tag{13}$$

kjer je $l = l_o$ pri $T = T_o$ in $\Delta T = T - T_o$.

Postopek merjenja Sestavi napravo za merjenje raztezkov. Eno krajišče kovinske cevi vpni v stojalo, skozi cev napelji vodo iz rezervoarja, ki jo segrevaš. Na drugi konec cevi vpni merilno urico, s katero izmeriš raztezek paličaste cevi. Za izračun temperaturnega koeficienta dolžinskega raztezka sta potrebna vsaj dve meritvi, pri sobni temperaturi in pri temperaturi vrelišča vode.

3.6 Temperaturno raztezanje vode

Na podoben način lahko opišemo raztezanje ali krčenje telesa zaradi spremembe temperature. V tem primeru je *relativna sprememba prostornine* dV/V sorazmerna s spremembo temperature dT:

$$\frac{dV}{V} = \beta_T \, dT, \tag{14}$$

kjer je β_T *temperaturni koeficient prostorninskega raztezka*. Pri trdnih snoveh je trikrat večji od linearnega ($\beta_T = 3\alpha$). Za ne prevelike temperaturne spremembe lahko (14) zapišemo v obliki

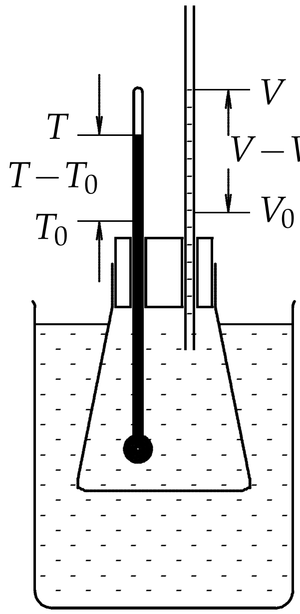
$$V = V_0 \left(1 + \beta_T (T - T_0)\right), \tag{15}$$

kjer je $V = V_0$ pri $T = T_0$.

Sestavi napravo za merjenje raztezkov kapljevine (glej sliko 3). V bučko do vrha nalij merjeno tekočino. Bučko zamaši z zamaškom, skozi katerega sta vtaknjena cevka in termometer. Poskrbi, da v bučki ni zračnih mehurčkov in da pri nizki temperaturi seže kapljevina v cevki do spodnje lege, kajti s segrevanjem se gladina kapljevine dviguje. Bučko z merjeno kapljevino postavi v čašo z vodo in jo segrevaj do tolikšne temperature, da se kapljevina ne prelije iz cevke. Izračunaj prostornino $V - V_0 = S\,(l - l_0)$ in izmeri prostornino tekočine V_0. Nariši graf $V(T) - V_0$. Izračunaj še temperaturni koeficient prostorninskega raztezka kot

$$\beta_T = \frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{1}{V_0} \frac{S \Delta l}{\Delta T} \tag{16}$$

Pri tem so ΔT koraki, v katerih si meril temperaturo, in Δl pripadajoči raztezki stolpca vode. Grafično prikaži, kako se β_T spreminja s temperaturo.



Slika 3: Merjenje razteznosti kapljevin.

3.7 Umeritev termočlena

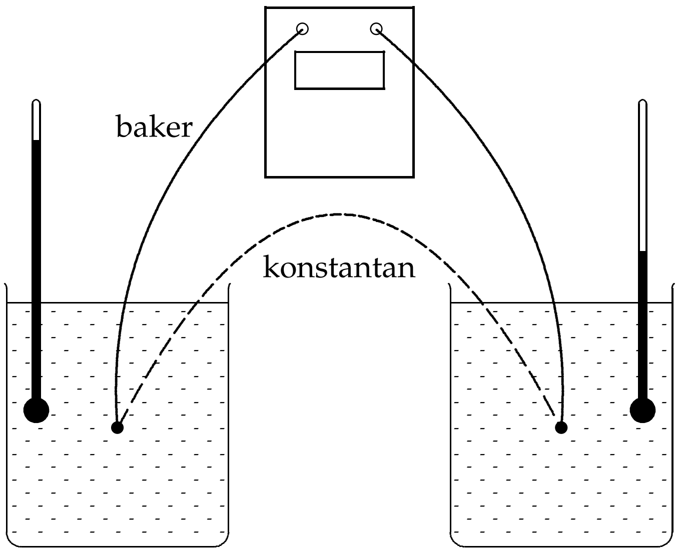
Poskrbimo za tesen dotik dveh različnih kovinskih žic. Ko tako spojimo dve žici v električni zaključeni krog, nastaneta dva spoja. Na njih se pojavi kontaktna napetost nasprotnega predznaka. V primeru, ko imata spoja različni temperaturi, v tem krogu nastane *termična gonilna napetost*

$$U_{gT} = U_{31} - U_{13} = a\,(T_2 - T_1). \qquad (17)$$

Sorazmernostna konstanta a je značilna za izbrani par kovin. Takšna kombinacija žic je termočlen.

Termočlen je uporaben za merjenje temperaturnih razlik. Ko več členov vežemo v baterijo, pa je uporaben tudi kot vir napetosti. Termočlen je v bistvu toplotni stroj, ki prejema od grelca toploto in jo pretvarja v delo električnega vira napetosti. Toploto prejema pri višji temperaturi T_2, oddaja pa jo pri nižji temperaturi T_1.

Postopek merjenja Izmeri napetost termočlena, ki ga sestaviš iz bakra in konstantana. Eno mesto potopi v ledeno mrzlo vodo, drugo vročo vodo. Vmesne temperature dobiš z dolivanjem mrzle vode v posodo z vročo vodo. Napravi graf $U(\Delta T)$ in izračunaj koeficient a v empirični enačbi.



Slika 4: Umeritev termočlena