

## 8.2.2 Notranja energija in delo

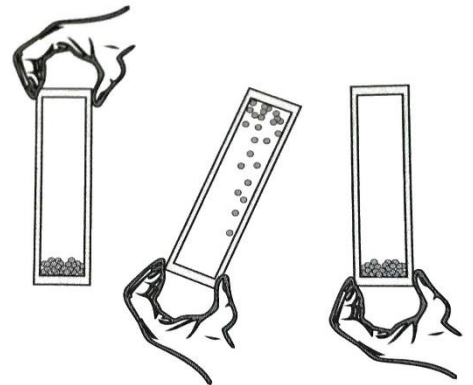
Kos železa, ki ga brusimo z brusilnim strojem, težko držimo v rokah, saj kmalu postane prevroč. Pri vrtnju jeklenih polizdelkov ves čas uporabljajo hladilno tekočino. Žago in granitni blok hladijo z vodo. Tudi pri žaganju lesa se žaga in les segrejeta. Zobozdravnik hladi z vodo sveder in zob. Med zaviranjem avtomobila se zavore zaradi trenja segrejejo. Prezebli roki ogrejemo tako, da ju podrgnemo drugo ob drugo. Kolesarska tlačilka se segreva, ker zrak od bata, ki ga potiskamo z roko, prejema delo. Posebej močno se segreje velik zračni kompresor, zato ga je potrebno hladiti. Pri mešanju, gnetenju, drgnjenju (trenju), vrtnju, žaganju, stiskanju itd. *se notranja energija snovi poveča na račun prejetega mehanskega dela*. Žica, po kateri teče električni tok, se segreje, ker prejema **električno delo**. V navedenih primerih se notranja energija snovi spremeni zaradi dela, ki ga snov oz. telo izmenja z okolico. Sprememba notranje energije toplotno izoliranega telesa ( $Q = 0$ ):

$$\Delta W_n = A$$

je enaka prejetemu ali oddanemu delu. Spomnimo: po dogovoru je delo pozitivno ( $A > 0$ ), če telo delo prejme (tj. če telesu dovedemo delo), in negativno ( $A < 0$ ), če telo delo odda (tj. če telo opravi delo).

### Poskus

Poskus, s katerim pokažemo, da je dovedeno delo približno enako spremembi notranje energije, naredimo s kartonsko cevjo oz. tulcem, kakršne uporabljajo za prenašanje plakatov. Za izvedbo poskusa potrebujemo še svinčene šibre (ali drobne ribiške uteži), infrardeči termometer ter stiroporni lonček. Najprej stresemo šibre v stiroporni lonček in izmerimo začetno temperaturo šiber z IR-termometrom. Šibre nato stresemo v kartonsko cev in jo zapremo s plastičnima pokrovčkoma.



Slika 1

Cev držimo z rokama in jo s hitrimi gibi obračamo iz ene pokončne lege v drugo, tako da šibre vsakič prosto padejo z vrha na dno cevi (slika 1). Med tem štejemo obrate. Po nekaj

desetih obratih odpremo cev, stresemo šibre v stiroporni lonček in takoj izmerimo njihovo temperaturo. Iz izmerjenih podatkov lahko izračunamo opravljeno delo in ga primerjamo s povečanjem notranje energije šiber. Pri pouku smo uporabili šibre iz svinca z maso  $m = 129$  g in kartonsko cev z dolžino  $h = 513$  mm. Po petdesetih zasukih so se šibre segrele v povprečju za  $\Delta T = 2,0$  °C. Delo, ki smo ga opravili, je:

$$A = N \cdot mgh = 50 \cdot 0,129 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,513 \text{ m} = \underline{32 \text{ J}},$$

sprememba notranje energije svinčenih šiber pa je:

$$\Delta W_n = mc\Delta T = 0,129 \text{ kg} \cdot 129 \text{ J/kgK} \cdot 2,0 \text{ K} = \underline{33 \text{ J}},$$

kjer smo upoštevali, da je specifična toplota svinca  $129$  J/kgK.

Glede na preprostost izvedbe poskusa je ujemanje rezultatov zelo dobro. Zakaj je izmerjena sprememba notranje energije manjša od dovedenega dela? Pomembna sta dva pojavi: prvič, nekaj toplote uide iz cevi s prevajanjem, in drugič, zaradi trkov s šibrami se segrejeta tudi pokrovčka. Ker pa je plastika bolj prožna od svinca in ker je toplotna kapaciteta plastičnih pokrovčkov majhna v primerjavi s toplotno kapaciteto šiber, se večina dela porabi za segrevanje šiber.

Angleški fizik in pivovar James Prescott Joule je pri poskusih v svojem laboratoriju med letoma 1840 in 1845 na številne načine izmeril t. i. **mehanski ekvivalent toplote**, tako da je natančno meril delo in temperaturne spremembe pri mešanju vode (slika 2). V kilogram vode v toplotno izolirani posodi je postavil majhno mlinsko kolo. V notranjosti posode so bile pritrdjene kovinske stene, ki so zaustavljale vodo in povečevale upor pri vrtenju kolesa. Kolo je poganjala utež na vrvi, ki je bila navita na vreteno mešala in je tekla preko škripca. Pri premagovanju upora pri gibanju po vodi je kolo opravljalo delo. Voda je prejela toliko dela, za kolikor se je zmanjšala potencialna energija uteži. Joule je ugotovil, da potrebujemo  $4190$  J dela, da se kilogram vode segreje za  $1$  °C. Kot vemo, je to delo številsko enako  $1$  kilokaloriji oziroma specifični toploti vode,  $4190$  J/kgK. Joulov poskus je torej pokazal, da je z dovedenim delom mogoče segreti snov enako kot z dovedeno toploto, skratka, da **je delo enakovredno toploti**.



**Slika 2:** Dve napravi, s katerima je James P. Joule 1845 določil mehanski ekvivalent toplote.

Če **telo oz. snov z okolico izmenjuje delo in toploto**, spremembo notranje energije zapišemo takole:

$$\Delta W_n = A + Q$$

Ta enačba, ki povezuje spremembo notranje energije telesa z delom in toploto, je matematični zapis izreka, ki ga včasih imenujemo tudi **energijski zakon termodinamike** in se z besedami glasi:

**Sprememba notranje energije telesa je enaka vsoti dela in toplote, ki ju telo izmenja z okolico.**

Sprememba notranje energije telesa torej ni odvisna od tega, kaj telo prejme: toploto, delo ali oboje hkrati. Opazovano telo lahko na primer prejme 100 J toplote in nič dela, 100 J dela in nič toplote, ali 60 J dela in 40 J toplote. Sprememba notranje energije telesa je v vseh treh primerih enaka:  $\Delta W_n = 100$  J. Zato se telo v vseh treh primerih (če ne spremeni agregatnega stanja) segreje za enako temperaturno razliko.

Telo oz. sistem, ki z okolico ne izmenjuje niti dela ( $A = 0$ ) niti toplote ( $Q = 0$ ), imenujemo **izoliran sistem**. Za izoliran sistem se izrek glasi:  $\Delta W_n = 0$ . To pomeni, da je **notranja energija izoliranega sistema konstantna**.