

Energija II: Energijski zakon in primeri iz vsakdanjega življenja

dr. Mojca Čepič

Oddelek za fiziko in tehniko, Pedagoška fakulteta Univerze v Ljubljani

V prejšnjem prispevku smo na dolgo, široko in podrobno obdelali pojme, konceptualne in terminološke povezave energije reči ter dveh načinov spreminjanja energije reči s prenosom energije med njima z delom oziroma toploto. Namenoma sem v stavku uporabljala dvojino, saj oba procesa, ki prenašata energijo, to sta mehanska moč in toplotni tok, potekata med dvema rečema. Seveda pa to ni ovira za prenos energije med več telesi hkrati, a tedaj poteka prenos preko več različnih procesov, ki potekajo med opazovano rečjo in drugimi rečmi, vsak proces posebej pa poteka v paru. Ena reč lahko prejema ali opravlja delo oziroma prejema ali oddaja toploto od več različnih ali več različnim rečem hkrati, zaporedoma, neprestano ali kako drugače. Za vsako izmenjavo energij moramo vedno identificirati reči, med katerimi izmenjava poteka, in proces, ki to izmenjavo omogoča. Ko želimo uporabiti energijske razmisleke v vsakdanjem življenju, so obravnavane reči pogosto ljudje, katerih dejanja so načrtna ali nenačrtna, in stroji vseh vrst, ki se gibljejo ali premikajo na določene načine na »zahtevo« ljudi. V fiziki za analize različnih dogajanj zelo radi uporabljamo klade in točkasta telesa, čeprav imajo učenci z gibanjem lastnega telesa obilico osebnih izkušenj. Zato bi bilo škoda, če bi njihove izkušnje zanemarili in jih prisilili, da razmišljajo o predmetih, ki zanje niso prav nič uporabni in zanimivi. Lepota abstraktnega razmišljanja, tako ljuba teoretičnemu fiziku, je učencem običajno tuja. Učencev pa ne moremo obravnavati kot točkastih oziroma togih teles, ker so v nekem smislu podobni strojem z notranjim pogonom. Dele svojega telesa lahko načrtno ali nenačrtno premikajo na različne načine in spreminjajo eno obliko svoje energije v drugo, opravljajo oziroma prejemaajo delo in toploto. Človeško telo s stališča fizike ni enostaven stroj. V gornjih stavkih sem večkrat uporabila besedi gibanje in premikanje. Načeloma sta besedi sinonima, saj lahko rečemo »roka se giblje« ali »roka se premika«. Za obravnavo v nadaljevanju pa opredelimo oba izraza natančneje: »premikanje« naj bo povezano s premikom težišča reči, »gibanje« pa naj opisuje reči bolj na splošno. Tako lahko izraz »gibanje« opozarja na vrtenje celotne reči ali le njenih delov, na premikanje posameznih delov reči in podobno, vključuje pa tudi premikanje v smislu spreminjanja lege reči.

Lotimo se obravnave štirih, z energijskega stališča na videz zelo preprostih primerov iz vsakdanjega življenja. Skupine primerov sem oblikovala tako, da se znotraj skupine spreminjajo procesi in reči, ki v proces vstopajo. Poskušala pa sem najti primere, kjer sta začetna in končna lega oziroma hitrost ene ali več reči enaki in se zato učencem zlahka vsili misel, da sta enaki tudi analiza procesov z energijskega stališča in energija teh reči. V nadaljevanju bom ljudi ali naprave, ki nekaj počno, imenovala akterji, dejanja, ki jih izvajajo, pa akcije. Akterji so sestavljeni iz mnogih delov, ki se lahko gibljejo na različne načine. Npr. ljudje lahko ločeno premikamo dele telesa, deli motorja v avtomobilu se gibljejo na različne načine itd. Poimenovanje »akter« povežimo s človekom, strojem itd. takrat, ko so deli med seboj dobro povezani. Npr. človek naj obsega tudi čevlje, pritrjene smuči, obleko, ne pa tudi nahrbtnika, ki ga je zelo enostavno sneti, ali nakupovalne vrečke v roki. Učitelj mora pri analizah vedno prav posebej poudariti, kaj vse obsega »akter«. Posledice akcij so z energetskega stališča lahko različne. Akterjem se lahko spremeni celotna energija, ki jo včasih na kratko imenujemo tudi energija, lahko pa se spremenijo le oblike energije, npr. kinetična se pretvori v potencialno. Oblike energije moramo vedno poimenovati eksplicitno.

V nadaljevanju želim pokazati, da je energijske procese mogoče strokovno korektno na enostaven način obravnavati že v osnovni šoli, kasneje pa še toliko lažje, tudi za precej kompleksne akterje iz vsakdanjega življenja. Pri obravnavi pa je treba upoštevati določene dogovore (akter, akcija) in biti natančen pri uporabi jezika (npr. notranja energija ni isto kot energija).

Začnimo s prvim primerom, s katerim imajo učenci običajno bogate izkušnje. Na sliki 1 vidimo dva načina, kako se je mogoče na kotalkah, drsalkah ali rolki začeti premikati. Udeleženci na sliki imenujmo Ema in Ana. Ema je višja in ima svetlo majico, Ana pa nekoliko nižja in ima rožnato majico.



(a)



(b)

Primer 1: Dva načina začetka premikanja na rolerjih.

- Ema potisne Ano, ki ima na nogah rolerje (slika 1(a)). Ana je na začetku mirovala, po potisku pa se premika oziroma pelje s hitrostjo v_{1a} .
- Ana stoji na kotalkah in se začne premikati po odrivu od stene (slika 1(b)). Nato naj se pelje z enako hitrostjo $v_{1b} = v_{1a} = v$ kot v primeru (a).

Primerjajmo Anino kinetično energijo na začetku in koncu opazovanja v obeh primerih. Na začetku opazovanja je Ana mirovala in je bila njena kinetična energija enaka nič. Na koncu opazovanja se je v obeh primerih premikala z enako hitrostjo v , torej je bila njena kinetična energija različna od nič, ampak v obeh primerih enaka. Če poznamo Anino maso m_{Ana} in njeno hitrost v_{Ana} , lahko Anino kinetično energijo tudi izračunamo:

$$W_{\text{Ana,k}} = \frac{1}{2} m_{\text{Ana}} v_{\text{Ana}}^2.$$

Čeprav v definiciji kinetične energije nastopa kvadrat hitrosti, učenci po nekaj računskega treninga običajno nimajo težav z izračunom kinetične energije.

Naslednje vprašanje pa navadno povzroča velike težave. *Ali sta Ana in Ema prejemale ali opravljali delo?* Po prejšnjem dogovoru Ano obravnavamo skupaj z rolerji. Učenci pri iskanju odgovora najpogosteje vztrajajo pri osebnih občutkih, povezanih z delom. Če se morajo za nek rezultat potruditi, potem so opravljali delo. Pri tem ne ločujejo, ali so dvigovali ali pospeševali sebe ali koga drugega. A z energijskega stališča tak razmislek ne zdrži.

Za ugotavljanje, ali je delo bilo opravljeno (oddano) ali prejeta, lahko uporabimo dva kriterija. Če se je akterju A energija povečala, potem moramo najti akterja B, ki deluje s silo na telo A in se mu je energija zmanjšala. In obratno. Pozor, uporabljena je zgolj beseda »energija«, ki vključuje vse oblike energije akterja, tudi notranjo. Drugi kriterij je pravzaprav enačba za izračun prenesene energije preko dela oziroma enačba (2) v [1]. Z be-

Slika 1: Obe sliki sta posneta v stroboskopskem načinu, zato rolerji na Aninih nogah niso najbolj vidni. (a) Ema potisne Ano. Z rdečo puščico je označena sila, s katero Ema potiska Ano, z vijoličasto pa premik prijemališča te sile. (b) Ana se od stene odrine sama. Z rumeno puščico je označena sila stene, ki deluje na Ano. Vijoličasti krožec nakazuje, da se prijemališče te sile ne premakne. Z zeleno puščico je označen premik Aninega težišča med odrivom.

sedami lahko kriterij, oblikovan po tej enačbi, izrazimo tako: a) Če obstaja sila med telesoma A in B in b) če se premika prijemališče te sile in c) če sila ni pravokotna na premik. Vsi trije pogoji morajo biti izpolnjeni, da se prenese energija med akterjema A in B z delom. Izraz (2) iz [1] pa pove, koliko energije se je preneslo, če seveda obstaja dovolj podatkov za izračun. Pogosto namreč ne poznamo krajevne odvisnosti sile in podobnega.

Naj ilustriram uporabo obeh kriterijev v obeh primerih.

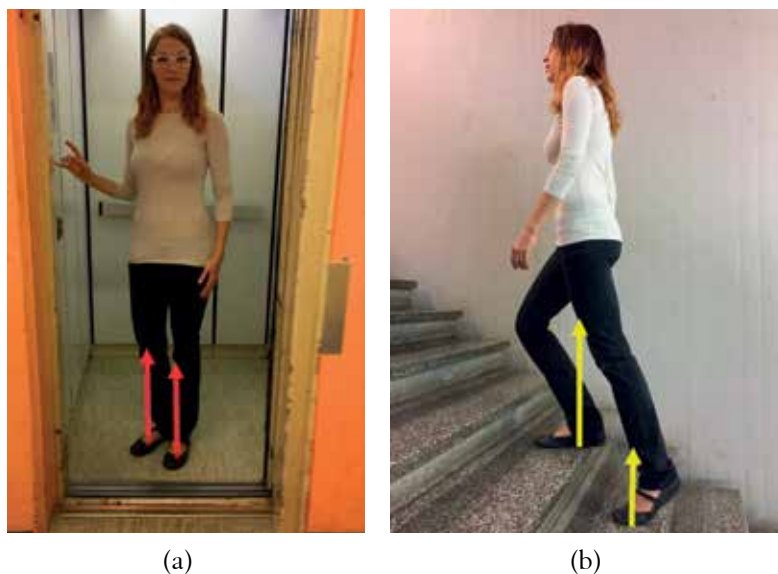
V primeru 1(a) se je zmanjšala Emina (celotna) energija, nekaj J (notranje) energije je prenesla s potiskom na Ano. Vir te notranje energije je hrana, ki jo je pojedla Ema. Anina energija se je povečala, saj je prejela delo od Eme, in ima na koncu kinetično energijo, ki je na začetku ni imela. Če pogledamo na sliko 1(a), lahko iz stroboskopskega posnetka sklepamo, da se je prijemališče sile, s katero je Ema potiskala Ano, premikalo. Premik prijemališča sile ponazarja vijoličasta puščica na sliki 1(a). Sila, s katero je Ema potiskala Ano, je bila vzporedna s premikom, ki ga ponazarja rdeča puščica na sliki 1(a). Vse te okoliščine nedvoumno kažejo, da se je energija z Eme prenesla na Ano.

V primeru 1(b) pa se je Ema sama potrudila, da se je začela premikati. Z odzivom od stebra je povzročila silo, označeno z rumeno puščico na sliki 1(b), s katero je steber odrival Emo. Drugi Newtonov zakon za razsežna telesa pravi, da vsota vseh sil povzroči pospešek težišča. Premik težišča v času delovanja sile je na sliki 1(b) označen z zeleno puščico. A drugi Newtonov zakon pospeška ne pogojuje s premikanjem prijemališča sile (na sliki 1(b) označeno z vijoličastim krogcem) ali s tem, da bi bil za pospeševanje nujen prenos energije med telesi oziroma delo. V primeru 1(b) sta akterja Ana in steber. Za Ano se zdi, da se ji je energija povečala, saj se premika. Za steber lahko z gotovostjo trdimo, da se mu energija ni zmanjšala: še vedno miruje, ohladil pa se

sam od sebe tudi ni. Iz tega lahko sklepamo, da prenosa energije med stebrom in Ano ni bilo, torej steber ni opravil dela. Dokler uporabljamo besedo »energija«, imamo vedno v mislih vse oblike energije akterja skupaj. Zakaj navidezno nasprotje? Ob odzivu se je zmanjšala Anina notranja energija (hrana) in povečala Anina kinetična energija. Vsota obeh energij pa je ostala enaka, če zanemarimo med dogajanjem oddano toploto. Tudi drugi kriterij pove isto. Steber se ni premaknil. Ana se je od stebra odrivala, torej se prijemališče sile ni premaknilo. Če ni bilo premika prijemališča, tudi steber Ani ni oddal dela. A steber seveda ni brez vloge v tej zgodbi. Sila stebra, dejanska reakcija na odziv Ane od stebra, je Ani šele omogočila pretvorbo lastne notranje energije v lastno kinetično. Od zraka se ne bi mogla odriniti, le na mestu bi lahko izvajala razgibalne vaje.

Kaj velja, če primerjamo Anini celotni energiji v primerih 1(a) in 1(b)? Anina celotna energija je v primeru 1(a), ko je prejela delo od Eme, večja kot v primeru 1(b), ko dela ni prejela.

Kljub poučevanju, pogovorom in razpravam učenci običajno odgovorijo, da je Anina energija v obeh primerih enaka. Na to sklepajo iz enakosti hitrosti in lege v navpični smeri v obeh primerih. Predstava, da energija, tudi poudarjena »celotna« energija, obsega le mehanske oblike energije, na katere lahko sklepajo že iz vizualnih opazanj, je izjemno močna in ukoreninjena. Pojem fizikalnega dela, napačno interpretiran preko posplošene izkušnje osebnega napora, pa to ukoreninjeno predstavo še dodatno podpira. Za pretvorbo notranje energije v mehansko energijo se je običajno treba fizično potruditi, pretvorbe med različnimi oblikami mehanske energije pa največkrat potekajo same od sebe, kot povedo izkušnje pri sankanju, smučanju, vožnji kolesa po klancu navzdol in še marsičem. Zato se sklep, da je Ana v primeru 1(b) opravila delo, ko je z odzivom samo sebe pospešila, in



Slika 2: (a) Slika simbolizira vožnjo z dvigalom. Z rdečima puščicama sta označeni sili podlage, ki med vožnjo opravljata delo. (b) Hoja po stopnicah. Med odzivom od stopnic se sile podlage neprestano spreminjajo, a njihovo prijemališče ostaja na mestu. Z rumenima puščicama sta označeni sili podlage oziroma stopnic, ki omogočata pretvarjanje Emine notranje energije v njeno potencialno.

ima zato na koncu večjo skupno energijo kot na začetku, vsiljuje, saj se je zato vendar morala »potruditi«.

Zelo podobno je v naslednjem primeru:

Primer 2: Vzpon za tri nadstropja.

- (a) Ema se povzpne tri nadstropja z dvigalom.
in
- (b) Ema se povzpne tri nadstropja peš po stopnicah.

Proces vzpona z označenimi silami v obeh primerih je simboliziran na sliki 2. Sile, ki so pomembne za obravnavo, so na obeh slikah označene.

Ema ima v začetni legi v obeh primerih, preden se začne vzpenjati bodisi z dvigalom bodisi po stopnicah, enako kinetično energijo (0 J), enako potencialno energijo (prav tako 0 J, če izberemo začetno lego kot izhodišče potencialne energije) in naj ima tudi enako notranjo energijo W_n . Kolikšna je notranja energija, izražena v J, ne vemo, a privzemimo, da je obakrat enaka.

Oglejmo si še energijo Eme v končni legi v obeh primerih. Kinetična energija je ponovno enaka nič. V obeh primerih se je potencialna energija povečala za:

$$\Delta W_{\text{Ema,p}} = m_{\text{Ema}} g \Delta h_{\text{Ema}}, \quad (1)$$

kjer je $\Delta W_{\text{Ema,p}}$ sprememba Emine potencialne energije. V primeru 2(a) velja naslednja energijska povezava:

$$\Delta W_{\text{Ema,p}} = A_p. \quad (2)$$

Ema je od podlage dvigala med vzpenjanjem dvigala prejela delo A_p . Sila podlage na Emo, katere prijemališče se je premikalo skupaj z dvigalom, je omogočila prenos energije z dvigala na Emo oziroma delo. V primeru 2(b) pa je energijski razmislek drugačen:

$$\Delta W_{\text{Ema,p}} = -\Delta W_{\text{Ema,n}}. \quad (3)$$

Ema je z odrivanjem od stopnic povzročila silo podlage (stopnic), ki ji je omogočila premikanje navzgor, zato se ji je potencialna energija povečala za $\Delta W_{\text{Ema,p}}$. A ker se stopnice niso premikale, je mirovalo tudi prijemališče sile stopnic, kar pa je omogočilo pretvorbo dela Emine notranje energije $\Delta W_{\text{Ema,n}}$ v Emino potencialno energijo. Še več, predznaki jasno kažejo: če se je povečala potencialna energija, se je zmanjšala notranja. Za hojo v hrib se je torej treba najesti, če ne želite shujšati ali omagati pred ciljem.

Na vprašanje o končni skupni energiji Eme pa učenci zelo pogosto ponovno padejo v past, upoštevajo zgolj »vidno« potencialno energijo in njeno povečanje pripišejo delu tistega akterja, ki se je »trudil«, dvigalu v primeru 2(a) in Emi sami v primeru 2(b). Tovrstni napačni sklepi, ki izhajajo iz pojmovanja skupne energije kot le »vidne« mehanske energije, so izjemno trdovratni. Opažam jih tudi po vseh učnih posegih pri nekaterih študentih.

Žal tudi abstraktno dobro razmišljajočim učencem, ki so večji v računu, ni lahko. Celotno pri formalno zapisanih enačbah se je enostavno zmešati.

Primer 3: Obravnava energijskih sprememb pri speljevanju avtomobila na asfaltni cesti.

Avtomobil z maso m najprej miruje, nato pa na razdalji Δx pospeši s pospeškom a . Avto speljuje brez spodrsavanja. *Katere sile delujejo na avto?* Sili v navpični smeri, teža in podlaga, sta v ravnovesju in ju ni treba obravnavati v prenosu energije. Ko se kolesa brez spodrsavanja vrtijo ob podlagi, se ob podlago »lepijo« in del kolesa ob stiku s podlago se glede na podlago ne premika. Sila lepenja, ki se ob tem pojavi, je edina sila v smeri, vzporedni s premikom avtomobila, če zanemarimo upor zraka pri majhnih hitrostih avtomobila. Sila lepenja nasprotuje smeri, v kateri se glede na podlago poskuša premakniti del kolesa v stiku z njo, torej je sila lepenja usmerjena v smeri vožnje. Ker del kolesa, kjer je prijemališče sile lepenja, glede na podlago miruje, ni premika prijemališča in sila lepenja ne opravlja dela.

Zaradi rezultante sil lepenja vseh štirih koles avtomobila F_L se težišče avtomobila pospešuje. Zapišimo pospeševanje z enačbami. Ker je avto enakomerno pospeševal, sta končna hitrost v_k in morebitna začetna hitrost v_z težišča avtomobila povezani s pospeškom in premikom težišča avtomobila na spodnji način:

$$v_k^2 - v_z^2 = 2a \Delta x. \quad (4)$$

Pospešek, vzporeden cesti, določa rezultanta sil lepenja:

$$a = \frac{F_L}{m}, \quad (5)$$

kar vstavimo v enačbo (4):

$$v_k^2 - v_z^2 = \frac{2}{m} F_L \Delta x, \quad (6)$$

in nekoliko preuredimo:

$$\frac{mv_k^2}{2} - \frac{mv_z^2}{2} = F_L \Delta x. \quad (7)$$

Na levi takoj prepoznamo kinetično energijo avtomobila pred in po pospeševanju, na desni pa je, kaj drugega pa naj bi bilo, delo, ki bi ga radi pripisali sili lepenja. A delo lepenja ni mogoče, saj lepenje obstaja le takrat, kadar ena reč glede na drugo v stiku miruje. A ker miruje tudi ena od reči, cesta, mirujejo prijemališča sil lepenja med kolesi in cestiščem. Izraz na desni strani je produkt rezultante sil lepenja in premika težišča avtomobila. Še sedaj se živo spomnim prof. Bradača, kako je pred več kot 40 leti zapisal to enačbo na tablo in rekel: »No vidite, to tukaj je videti kot delo, a ni, ker pri lepenju ni bilo premika prijemališča sil.« – »Kaj tako neumnega,« sem si mislila tedaj. Izraz na desni ima enako obliko kot delo, ker v njem nastopata sila in premik, a z eno zlobno razliko. Premik prijemališča sile je enak nič, premik v enačbi pa se nanaša na premik težišča pospešenega telesa. Kaj ta izraz pravzaprav pomeni? Izraz $F_L \Delta x$ podaja delež notranje energije avtomobila, ki se je sprostila pri izgorevanju bencina in se je pretvorila v kinetično ener-

gijo tega istega avtomobila med pospeševanjem. Tukaj pa učitelju lahko pomagajo izkušnje. Vsak otrok ve, da je treba za vožnjo avto napolniti na bencinski črpalki. A kljub temu je učencem zelo zelo težko ozavestiti dejstvo, da imajo enačbe enake oblike lahko različen pomen in da je natančen pomen vsake količine treba za vsak obravnavan primer dobro poznati.

Izrek o kinetični energiji, ki ima enako obliko kot (7), velja le za točkasta telesa, za sestavljena telesa pa ne. Pri točkastih telesih namreč ni dvoma. Premik težišča in prijemališče sile sta vedno enaka. Ker je delo fizikom tako ljubo, se za pretvarjanje notranje energije v mehansko energijo uporablja opis »delo notranjih sil«. Izraz opisuje navidezno rezanje stroja ali človeka na posamezne dele, ki si med seboj izmenjujejo energijo preko sil med njimi. Mnenja o tem, ali razpravljati o notranjih pretokih energije in opravljanju dela enega dela telesa na drugega, so deljena. Moje osebno mnenje je, da opisovanje pojavov, če podrobno ne poznamo delovanj motorjev, mišic itd., z besedami, katerih pomena ne poznamo dovolj dobro iz enakih razlogov, ni bolj produktivno kot »pogled od zunaj«, opisan prej. »Pogled od zunaj« se ne sprašuje o natančnih mehanizmih izmenjave in pretvarjanj različnih oblik energije, temveč iz okoliščin dogajanja ozavešči le spremembe in prenose energij, za katere lahko iz opazovanj in merjenj nedvoumno sklepamo, da obstajajo.

Zgornji razmislek uporabimo še za zadnji primer, ki še posebej dobro ponazori, kako zahtevna je analiza energijskih sprememb, če obravnavamo ljudi, živali ali stroje z gorivom.

Primer 4: Gorsko in sobno kolo v akciji.

- Gorski kolesar se povzpne po cesti na hrib. Cesta ni prestrma, zato celotno pot prevozi.
- Kadar je pot za vožnjo bodisi prestrma bodisi preveč skalovita, morajo gorski kolesarji kolo nositi. Kolesar na hrbtu prenese kolo in pri tem premaga enako višino kot v primeru 4(a).
- Ko zapade sneg ali piha burja, najbolj prizadevni trenirajo na sobnem kolesu. Sobno kolo kolesar nastavi tako, da pritiska na pedale z enako silo kot v primeru 4(a). Tudi trenira tako dolgo, kot se je v primeru 4(a) vzpenjal po cesti.

Privzemimo, da je v vseh treh primerih kolesar oddal tudi enako J toplote v okolico.

V katerih primerih je kolesar opravil delo? V katerih primerih je kolesar prejel delo? Kolikšno je to delo bilo? Za koliko se je spremenila skupna energija kolesarja in kolesa v vseh treh primerih?

Katere podatke moramo poznati, če želimo vse tri primere podrobneje analizirati z energijskega stališča: maso kolesarja m_k , maso kolesa m_b (b kot bicikel) in višino vzpona Δh . Zanimarili bomo energijske pretvorbe zaradi trenja. S trenjem se bomo ukvarjali v prihodnjem prispevku. Na sliki 3 so sile, ki opravljajo delo na kolesarju, označene z rdečimi puščicami, medtem ko so sile, s katerimi kolesar deluje na druge akterje, narisane z modro. Sile z mirujočimi prijemališči, ki omogočajo pretvorbo ene oblike energije v drugo, so narisane z rumeno. Narisane so le sile, ki delujejo na kolesarja in so pomembne za obravnavo.



(a)



(b)



(c)

Slika 3: Modre puščice označujejo sile, s katerimi kolesar deluje na kolo. Rdeče puščice označujejo sile, ki opravljajo delo na kolesarju, in rumene puščice ponazarjajo sile, ki se jim prijemališče ne premika.

- Kolesar se vzpenja z vožnjo. Sila na pedale opravlja delo na kolesu, zato bi se kolesu povečevala kinetična energija. Lepenje omogoča pretvorbo kinetične v potencialno energijo kolesa. Sila kolesa na kolesarja opravlja delo na kolesarju in mu povečuje potencialno energijo.
- Nošnja kolesa navkreber. Sila, s katero kolesar nosi kolo, opravlja delo na kolesu in mu povečuje potencialno energijo. Sila podlage omogoča pretvorbo notranje energije kolesarja v njegovo potencialno.
- Poganjanje sobnega kolesa. Sila nog na pedale opravlja delo na kolesu in povečuje notranjo energijo sobnega kolesa.

Primerjajmo najprej energijo kolesarja na začetku in na koncu vzpona v primeru 4(b). Kolesarju se je potencialna energija povečala za:

$$\Delta W_{k,p} = m_k g \Delta h \quad \text{in kolesu} \quad \Delta W_{b,p} = m_b g \Delta h. \quad (8)$$

Podrobnejši pogled na sile pokaže, da je sila, s katero je kolesar nesel kolo (modra puščica na sliki 3(b)), obstajala, da se je prijemališče te sile premikalo, ter da je obstajala komponenta te dvižne sile v smeri premika navzgor. Izpolnjeni so bili vsi pogoji za opravljanje dela in kolo je prejelo delo od kolesarja $A_k = \Delta W_{b,p}$. Drugače je s kolesarjem. Kolesar se je med hojo odriaval od tal, zato je sila podlage (rdeča puščica na sliki 3(b)) potiskala kolesarja po klancu navzgor, premika prijemališča sile podlage pa ni bilo. Ta sila je omogočila le pretvorbo notranje energije kolesarja v njegovo potencialno oziroma kinetično, ki se je nato preko dela prenašala na nošeno kolo kot pri hoji po stopnicah. Zaradi dela kolesarja na kolesu oziroma prenosa energije na kolo se je skupna energija kolesarja zmanjšala za opravljeno delo kolesarja na kolesu:

$$-\Delta W_{k,n} = \Delta W_{k,p} + A_k = \Delta W_{k,p} + \Delta W_{b,p}. \quad (9)$$

Besedo lahko namenimo še energijskemu toku oziroma mehanski moči med nošnjo kolesa. Kolesar je z določeno močjo pretvarjal svojo notranjo energijo v svojo mehansko potencialno energijo in hkrati opravljal delo na kolesu, ko se je energija prenašala med njim in kolesom. Zapisano z izrazi za moč:

$$-\frac{dW_{k,n}}{dt} = \frac{dW_{k,p}}{dt} + \frac{dA_k}{dt} = \tilde{P}_{k,p} + P_k, \quad (10)$$

kjer je s P_k označena mehanska moč, s katero kolesar prenaša energijo na kolo. To je v zgodbi edina prava mehanska moč, povezana s prenosom energije med rečmi preko sil oziroma z delom. Z oznako $\tilde{P}_{k,p}$ pa je označeno pretvarjanje kolesarjeve notranje energije v kolesarjevo potencialno energijo, a še vedno energijo kolesarja. Prej smo to imenovali tudi delo notranjih sil. Ker ni prenosa energije med različnimi akterji, te komponente, strogo gledano, ne moremo imenovati mehanska moč, temveč kvečjemu »moč pretvarjanja« med oblikami energije.

Poglejmo si sedaj primer 4(a), ki ima na koncu enako stanje kot primer 4(b). Z energijskega stališča je položaj enak kot v (9). Procesi, ki so vodili do te situacije, pa so bili drugačni. Kolesar je namreč ob vzponu krepko pritiskal na pedale (slika 3), pedali so se premikali v smeri sile nog, torej je kolesar opravljal delo na kolesu. Kolo je

to delo prejelo, sila lepenja med kolesi in podlago pa je, brez premika prijemališča sile, omogočala pretvorbo kinetične energije kolesa v potencialno energijo kolesa. Ob tem procesu so se pojavile še sile sedeža, krmila in pedalov na kolesarja, ki so ga dvigovale. Silama sedeža in krmila kolesarja se prijemališče dviguje, hkrati pa se dviguje tudi prijemališče sile, s katero se pedal odziva na pritisk kolesarjeve noge, ker zaradi vzpona po obratu pedal konča nekoliko višje. Vse te sile imajo komponento sil v smeri premika prijemališča in omogočajo povratni prenos energije s kolesa nazaj na kolesarja oziroma kolo opravlja delo na kolesarju. Energijske prenose zapišemo tako:

$$\begin{aligned} -\Delta W_{k,n} &= A_{k \text{ na } b} = \Delta W_{k,p} + \Delta W_{b,p} \\ \Delta W_{b,p} &= A_{k \text{ na } b} - A_{b \text{ na } k} = A_{k \text{ na } b} - \Delta W_{k,p}. \end{aligned} \quad (11)$$

Povejmo še bolj pogovorno, kolesar je med vzponom na kolesu opravljal delo, kolo je del prejetega dela »vrnilo« kolesarju, energijsko stanje na koncu opazovanja pa je bilo enako. Dejansko v procesu ni bilo neposrednega pretvarjanja notranje energije v eno od mehanskih oblik, med akterji je bila prisotna mehanska moč s prenosom energij v različnih smereh in spremembe potencialne energije zaradi teh izmenjav:

$$-\frac{dW_{k,n}}{dt} = P_{k \text{ na } b}, \quad P_{b \text{ na } k} = \frac{dW_{k,p}}{dt}, \quad P_{k \text{ na } b} - P_{b \text{ na } k} = \frac{dW_{b,p}}{dt}. \quad (12)$$

Ostane še primer 4(c), ki pa je enostaven. Kolesar je opravljal delo na sobnem kolesu. Opravljeno delo je bilo enako kot v primeru 4(a). A ker se kolo ni dvigovalo, kolesarju energije ni delno vrnilo in se potencialna energija sobnega kolesa ni povečala. Opravljeno delo je povečalo le notranjo energijo sobnega kolesa. Če bi kolo bilo priključeno na generator, bi kolesar morda lahko med poganjanjem gledal na generator priključeno televizijo. A ne bomo uvajali dodatnih komplikacij.

Naj zaključim dolgo formalno izvajanje. Delo ter prenosi energije in energijske pretvorbe med različnimi oblikami energije radi postanejo zelo zapleteni, če so v igro vključene razsežne reči z notranjo zgradbo, ki te pretvorbe omogočajo. V pomoč pri obravnavi energije v vsakdanjem življenju je lahko le natančna definicija opazovanih reči oziroma akterjev ter sil s prijemališči. Prav tako je nujna natančna strokovna raba poimenovanj, natančna analiza energij, sodelujočih v dogajanju, kot dodatna kontrola pa še natančna analiza sil, ki omogočajo bodisi prenos energije med rečmi bodisi pretvarjanje med različnimi oblikami energije.

Vir

[1] Čepič, M. (2017). *Energija in delo. Fizika v šoli* 22(1), str. 55–59.