

## Glava 4

# Rad, energija, snaga

Pojam energije je jedan od najvažnijih u nauci i tehnici ali se koristi i u svakodnevnom životu. U našoj svakodnevnici taj pojam se obično odnosi na gorivo za pokretanje automobila ili za grejanje, na električnu energiju za osvetljenje i pokretanje uređaja i aparata, na hranu koju konzumiramo, na sunčevo zračenje koje nas greje. Te predstave ne odgovaraju međutim u potpunosti fizičkom pojmu energije.<sup>1</sup>

U ovoj glavi će prvo biti uveden pojam rada. Rad se uvek vrši nekom silom koja deluju na neko telo i pomera ga, pri čemu se napadna tačka sile takodje pomera. Zatim će biti definisana kinetička energija kao energija koju poseduju tela koja se nalaze u kretanju. Uopšteno ćemo energiju smatrati sposobnošću tela da izvrši rad.

Već je rečeno da je energija jedan od najvažnijih pojmova u fizici. U raznim oblicima je uključena je u svim prirodnim fenomenima a od izuzetno velike važnosti je činjenica da je ukupna količina energije konstantna. Ona može samo da menja oblike, što je u skladu sa činjenicom da ništa ne može nestati bez traga. U skladu sa time, energija je jedna od fizičkih veličina koje se u procesima održavaju odnosno konzervišu. Štaviše, ispostavilo se da je i masa u odredjenom smislu, samo jedan od oblika energije (prema čuvenoj Ajnštajnovoj jednačini  $E = mc^2$ ).

### 4.1 Rad

Skoro sve fizičke veličine koje su do sada pomenute (brzina, ubrzanje, sila, ...) imaju isti smisao u fizici kao i u svakodnevnom životu. Ovde će biti

---

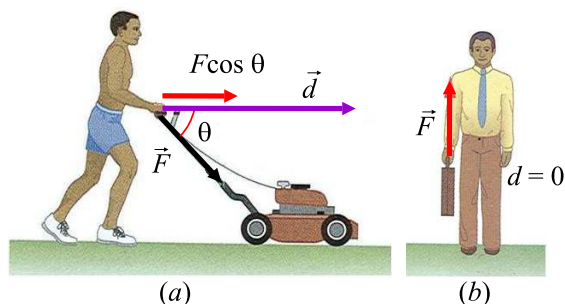
<sup>1</sup>One ukazuju samo na to da je neka vrsta goriva neophodna za vršenje rada i da nam u tom smislu obezbeđuju nešto što nazivamo energijom.

obradjen *rad* koji u fizici ima smisao često različit od opšte prihvaćenog. Često kažemo da je za obavljanje nekih poslova potrebno izvršiti "težak ili veliki rad", kao što je učenje fizike ili držanje velikog tereta u rukama u polju Zemljine teže.<sup>2</sup> Kada u fizici mislimo na fizičku veličinu pod imenom *rad*, onda imamo u vidu da prilikom vršenja *rada* dolazi do prenosa energije sa tela na telo ili do promene njenog oblika.

Da bi rad mogao da bude izvršen, mora da postoji sila koja deluje na telo, usled čega dolazi do njegovog pomeranja u prostoru. **Rad** koji nad sistemom izvrši konstantna sila je *produkt komponente sile u pravcu kretanja tela i pomeraja tela*<sup>3</sup>

$$A = Fd \cos \theta, \quad (4.1)$$

gde je  $A$  rad,  $d$  pomeraj tela, a  $\theta$  ugao između vektora sile  $\vec{F}$  i vektora pomeraja  $\vec{d}$  (slika 4.1(a)).



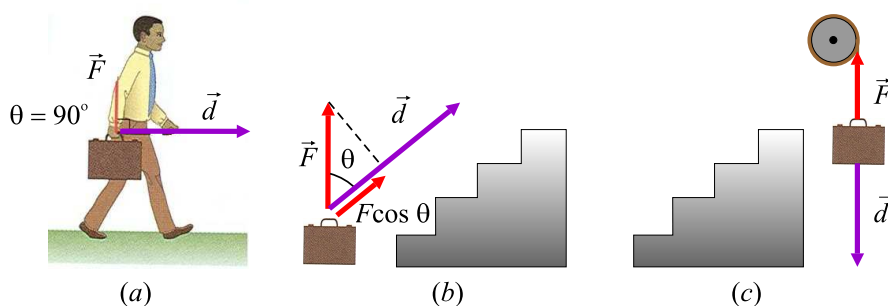
Slika 4.1: (a) Rad nad kosačicom je jednak  $Fd \cos \theta$ . (b) Nad koferom, pri njegovom držanju, je jednak nuli.

Da bi se pravilno shvatila definicija rada potrebno je proanalizirati i situaciju prikazanu na slici 4.1(b). Čovek koji drži kofer i ne kreće se, ne vrši rad nad njime obzirom da je pomeraj  $d = 0$ . Zašto se onda on pri tome umara? Odgovor se nalazi u činjenici da njegovi mišići vrše rad jedni u odnosu na druge kontrahujući se i opuštajući, ali ne vrše rad nad sistemom, odnosno koferom. Da bi se izvršio rad potrebno je pomeranje sistema i potrebno je da sila koja deluje na sistem ima komponentu u pravcu njegovog kretanja. Čovek koji nosi kofer, na primer, u horizontalnom pravcu (slika

<sup>2</sup>Osim ovakvog poimanja rada, često govorimo i o umnom, umetničkom, organizacionom, političkom radu, ...

<sup>3</sup>Gustav Koriolis (Gustave Coriolis, 1792-1843), francuski matematičar i mehaničar, je prvi upotrebio termin "rad" za proizvod sile i rastojanja na koje je pomerila telo. U fizici je uglavnom poznat po efektu koji nosi njegovo ime a odnosi se na otklon putanje tela od prave linije usled posmatranja iz sistema reference koji rotira.

4.2(a)) ne vrši rad na koferu jer je sila pod pravim uglom u odnosu na kretanje kofera.<sup>4</sup> U slučaju da sila koja deluje na sistem ima komponentu duž pravca kretanja sistema, kao na slici 4.2(b), rad je izvršen i time je promenjena energija kofera. Energija koju poseduje kofer može da se koristi za pokretanje generatora električne struje na primer što je prikazano na (c) delu iste slike.



Slika 4.2: (a) Pri nošenju kofera po horizontali konstantnom brzinom ne vrši se rad, odnosno nema promene njegove energije. (b) Rad se vrši kada se kofer nosi uz stepenište, jer je reč o kretanju duž čije putanje postoji komponenta sile. (c) Energija koju poseduje kofer može da se iskoristi za pokretanje nekog drugog tela, recimo električnog generatora.

U tom slučaju kofer vrši rad nad generatorom, predajući mu energiju koja izaziva rotiranje njegovog odgovarajućeg dela što se zatim koristi za dobijanje električne energije.<sup>5</sup>

Rad i energija imaju iste jedinice. Iz definicije rada se vidi da on ima definiciju sila puta rastojanje, odakle sledi da je za rad i energiju u SI jedinica **njutn-metar**. Njutn-metar je zbog značaja dobio posebno ime **džul (J)**,<sup>6</sup> i iznosi  $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$ .<sup>7</sup>

<sup>4</sup>Drugim rečima iz  $\cos 90^\circ = 0$  sledi da je rad  $A = 0$ .

<sup>5</sup>Ovaj proces može da se interpretira i sa stanovišta kofera-sistema nad kojim se u tom slučaju vrši negativan rad (vrši ga generator) jer on pri tome gubi energiju. Sila je usmerena suprotno od pomeraja pa je ugao  $\theta = 180^\circ$ , i  $\cos 180^\circ = -1$ , pa je zato  $A$  negativna veličina.

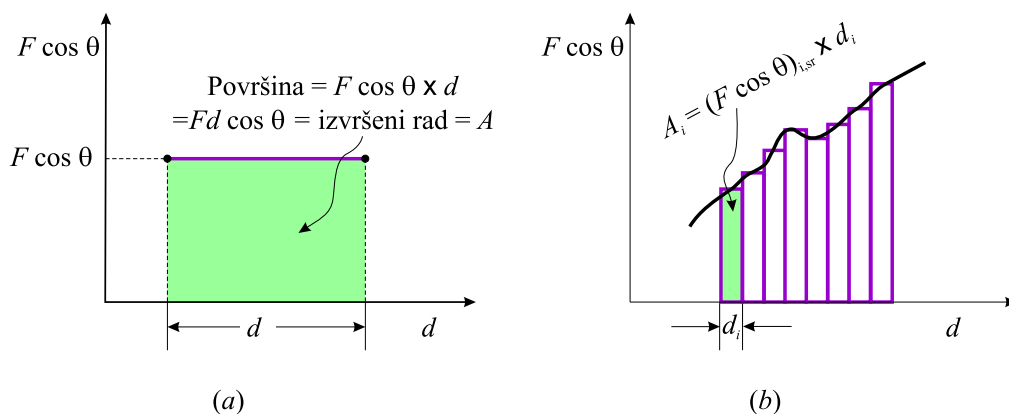
<sup>6</sup>Po engleskom ... Džulu, ...

<sup>7</sup>Podsetimo se da moment sile takodje ima jedinicu N·m ali on nema smisao ni rada ni energije.

## 4.2 Kinetička energija

Šta se dešava kada se izvrši rad nad sistemom? Energija se preda sistemu, ali postavlja se pitanje u kom obliku? Odgovor naravno zavisi od situacije. Na primer, ako se kosačica sa slike 4.1 (a) gura taman toliko jako da se kreće konstantnom brzinom, energija koja joj se predaje od strane onoga koji je gura, neprekidno se troši na savladavanje sile trenja sa podlogom.<sup>8</sup> Nasuprot ovom primeru, energija koja se predaje koferu od strane osobe koja ga nosi i penje se uz stepenice, može da se iskoristi u bilo kom docnijem momentu, na primer kao na slici 4.2 (c). Na taj način, energija koja je saopštena nekoj steni pri pravljenu piramide prilikom njenom podizanju na vrh piramide, ostaje uskladištena u njoj čineći je na taj način *potencijalno* sposobnom da izvrši rad.

Ako na telo deluje više sila onda je ukupan rad jednak zbiru radova svake sile ponaosob.



Slika 4.3: (a) Grafik  $F \cos \theta$  u funkciji od  $d$  za konstantnu silu. Površina ispod krive jednaka je radu koji je izvršila sila. (b) Grafik  $F \cos \theta$  u funkciji od  $d$  za silu koja nije konstantna. Rad koji se izvrši u svakom intervalu je jednak površini trake, ukupni rad je jednak ukupnoj površini ispod krive.

Slika 4.3 (a) prikazuje grafik komponente konstantne sile  $F \cos \theta$  (u pravcu pomeraja u funkciji pomeraja  $d$ ). Sa ove slike je očigledno da je rad  $A = Fd \cos \theta$  jednak osenčenoj površini ispod grafika. Slika 4.3 (b) prikazuje opštiji slučaj u kome je sila promenljiva sa vremenom. Kako na grafiku nemamo pravu liniju koja je paralelna sa horizontalnom osom, da bi se primenila ista procedura za izračunavanje rada, zgodno je grafik izdeliti na

<sup>8</sup>Ova energija napušta sistem u obliku toplote.

vertikalne trake. Trake su širine  $d_i$  svaka, a da bi se dobila što tačnija vrednost rada unutar tog intervala, za silu se uzima njena srednja vrednost  $(F \cos \theta)_{i, sr}$  unutar njega. Rad za taj interval je  $A_i = (F \cos \theta)_{i, sr} d_i$  a ukupan rad je jednak sumi ovakvih sabirka. Naravno, i u ovom slučaju, suma je približno jednaka površini ispod grafika.<sup>9</sup>

Predjimo sada na analizu prostijeg, jednodimenzionalnog, slučaja kada je sila usmerena duž početne brzine tela i koristi se da bi ga ubrzala. Rad je u tom slučaju

$$A = Fd$$

a na osnovu II Njutnovog zakona,  $ma = F$ , poprima oblik

$$A = mad.$$

Da bi dobili vezu izmedju rada i brzine, uzimajući da je  $d = x - x_0$ , jednačina (2.10) postaje  $v^2 = v_0^2 + 2ad$ . Rešimo li ovu jednačinu po ubrzanju  $a$ , dobijamo  $a = (v^2 - v_0^2)/(2d)$ . Kada se ovo zameni u prethodni izraz za rad, on postaje

$$A = m \cdot \frac{v^2 - v_0^2}{2d} \cdot d,$$

što nakon skraćivanja pomeraja i sredjivanja daje

$$A = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2. \quad (4.2)$$

Ova formula je veoma važna i naziva se *teorema o radu i energiji*. Iako je ova formula izvedena za specijalan slučaj sile koja je konstantna po intenzitetu i paralelna pomeranju, ona ostaje u važnosti i u opštem slučaju kada se sila menja po pravcu i po intenzitetu. Formula (4.2) nam kazuje da je izvršeni rad jednak promeni veličine  $mv^2/2$ , koja je zapravo prvi oblik energije koji ćemo pomenuti.

Ova vrsta energije je nazvana **translatorna kinetička energija** ( $E_k$ ) tela mase  $m$  koje se kreće brzinom  $v$ ,

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (4.3)$$

odnosno ona je pridružena kretanju tela. Ukoliko je reč o kretanju materijalne tačke, tela, ili sistema tela koja se kreću zajedno, ovaj oblik energije

<sup>9</sup>Suma ovako izračunatih radova je to približnija površini što je širina traka manja. U graničnom slučaju, kada je širina veoma mala (u matematičkom smislu beskonačno mala), navedena suma postaje jednaka jednom specifičnom matematičkom objektu pod nazivom *integral*.

je lako vizuelizovati. Ukoliko je pak reč o kretanju atoma i molekula unutar tela, njihova kinetička energija ostaje "sakrivena" i naziva se unutrašnjom energijom.

### 4.3 Potencijalna energija

U prethodnom poglavlju je uvedena kinetička energija kao energija koju telo poseduje usled svog kretanja. U ovom poglavlju će biti uvedena druga forma energije pod nazivom potencijalna energija, koja je u vezi sa relativnim položajem tela koja interaguju, odnosno sa položajem tela u polju neke sile. Ona se obično označava sa  $E_p$ , a kako je vezana za relativan položaj tela koja čine sistem, svaka promena položaja tela u sistemu, izaziva i promenu potencijalne energije. Potencijalna energija može biti shvaćena kao energija koja je akumulirana i koja može ili da predje u kinetičku ili da se na osnovu nje izvrši neki rad.

#### Gravitaciona potencijalna energija

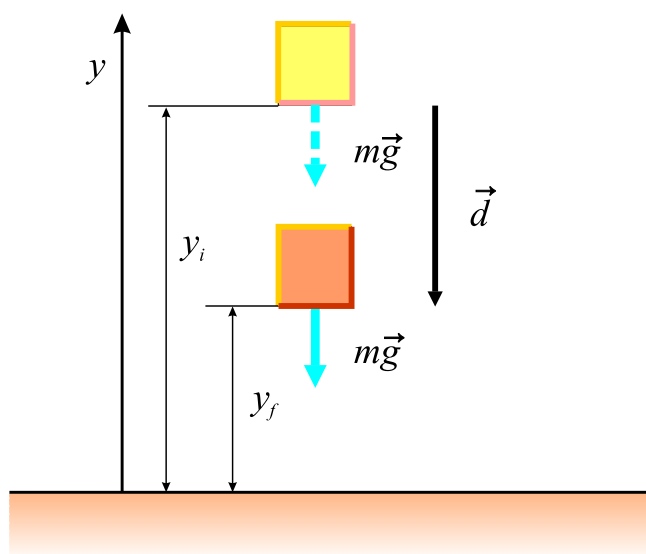
Kada neko telo pada ka Zemlji, to se dešava usled toga što Zemlja na njega deluje silom  $m\vec{g}$  (za male visine na kojima se može smatrati da je polje Zemljine teže homogeno) u smeru koji se poklapa sa smerom kretanja tela. Gravitaciona sila vrši rad na telu što izaziva povećanje njegove kinetičke energije.

Zamislimo da je neka kocka, mase  $m$  puštena da pada (iz stanja mirovanja). Tokom pada njoj raste brzina a time i kinetička energija. Obzirom na kretanje (i vršenje rada), sistem kocka-Zemlja poseduje potencijalnu energiju na kojoj god visini se kocka nalazila iznad Zemlje. Prilikom pada ta potencijalna energija se konvertuje u kinetičku. Pretpostavimo da je kocka puštena da pada sa visine  $y_i$  kao što je to pokazano na slici (4.4). Ako zanemarimo otpor vazduha, jedina sila koja deluje na kocku prilikom njenog pada je Zemljina gravitaciona sila, jednaka  $m\vec{g} = -mg\vec{e}_y$ .<sup>10</sup> Rad koji ona izvrši prilikom pomeraja  $\vec{d} = (y_f - y_i)\vec{e}_y$  je

$$A_g = m\vec{g} \cdot \vec{d} = (-mg\vec{e}_y) \cdot (y_f - y_i)\vec{e}_y = mgy_i - mgy_f. \quad (4.4)$$

Rad gravitacione sile dakle, zavisi samo od izmene  $y$  koordinate tela, odnosno

<sup>10</sup>U ovom izrazu je sa  $\vec{e}_y$  označen takozvani jedinični vektore  $y$  ose. To je vektor jediničnog intenziteta koji ima pravac i smer  $y$  ose. Jedinični vektore  $x$  i  $z$  ose se, u skladu sa tim, označavaju sa  $\vec{e}_x$  i  $\vec{e}_z$ .



Slika 4.4: Rad sile pri pomeranju kocke (slobodnom padu) u polju Zemljine težena sa visine  $y_i$  na  $y_f$ .

od promene u visini tela.<sup>11</sup> Veličina  $E_p = mgy$  se naziva gravitacionom potencijalnom energijom posmatranog sistema, a rad koji je ovom prilikom izvršen je

$$A = E_{pi} - E_{pf} = -(E_{pf} - E_{pi}) = -\Delta E_p. \quad (4.5)$$

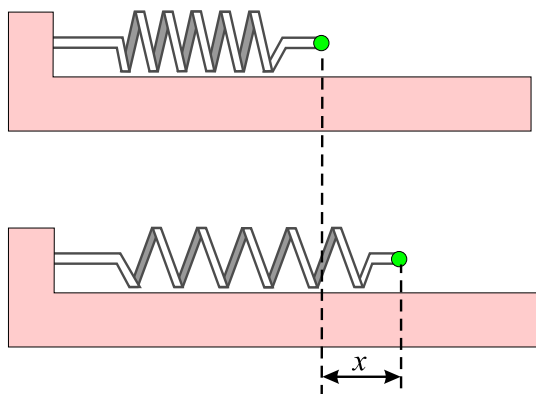
Može se reći da je rad gravitacione sile jednak negativnoj promeni u gravitacionoj potencijalnoj energiji između početnog i konačnog položaja tela.

### Potencijalna energija kod elastičnih deformacija

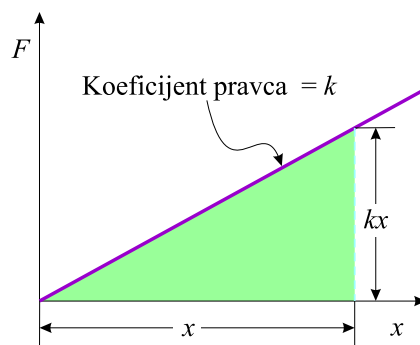
Istezanje opruge (za male promene dužine opruge) izaziva njenu elastičnu deformaciju pri čemu je sila koja je izaziva predstavljena Hukovim zakonom  $F = k\Delta l$ , gde je  $k$  konstanta elastičnosti opruge, a  $\Delta l$  iznos promene njene dužine. Sila potrebna da se opruga istegne za  $x$  je, prema tome  $F = kx$  i ona lagano raste od 0 (kada je opruga u relaksiranom stanju) do vrednosti  $kx$  (kada je opruga istegnuta). Srednja vrednost sile pri ovom procesu je  $kx/2$ , pa je rad koji je pri tom izvršen biti  $A = Fd = kx/2 \cdot x = kx^2/2$ .

Izvršeni rad na opruzi je prešao u potencijalnu energiju istegnute opruge

<sup>11</sup>Ukoliko kretanje ima i  $x$  komponentu, tada je pomeraj  $\vec{d} = (x_f - x_i)\vec{e}_x + (y_f - y_i)\vec{e}_y$  ali rad i dalje ima istu vrednost obzirom da je  $-mg\vec{e}_y \cdot (x_f - x_i)\vec{e}_x = 0$ .



Slika 4.5: Nedeformisana opruga ne poseduje potencijalnu energiju. Energija deformisane opruge zavisi od stepena deformacije.



Slika 4.6: Grafik sile  $F$  u zavisnosti od istezanja opruge  $x$  je prava linija koeficijenta pravca  $k$ . Površina oblasti ispod grafika je  $kx^2/2$ .



koja prema tome iznosi

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2. \quad (4.6)$$

### 4.3.1 Konzervativne sile i potencijalna energija

Analizom analognom prethodnoj, može da se zaključi da, ako je opruga bila istegnuta za  $x_i$  pa potom za  $x_f$  (obe pozicije su računane od položaja kada je opruga relaksirana), rad koji će biti izvršen na njoj je

$$A = \frac{kx_f^2}{2} - \frac{kx_i^2}{2}. \quad (4.7)$$

Drugim rečima rad *nad* oprugom je jednak razlici potencijalnih energija opruge<sup>12</sup>

$$A_{nad} = E_{pf} - E_{pi}.$$

Istezanje (deformacija) opruge spoljašnjom silom izaziva u njoj pojavu sile reakcije (elastične sile) koja je suprotno usmerena od sile koja ju je izazvala. U skladu sa time će rad *opruge*, pri relaksiranju od momenta kada je istegnuta za  $x$ , do relaksiranja do 0, biti

$$A_{opruge} = \frac{1}{2}kx^2,$$

odnosno može da se prikaže kao  $-(E_{pf} - E_{pi})$ , gde je  $E_{pf} = 0$  a  $E_{pi} = kx^2/2$ . Drugim rečima, kao i u slučaju rada gravitacione sile, i ovde rad elastične sile može da se predstavi kao negativna razlika potencijalne energije

$$A = -\Delta E_p. \quad (4.8)$$

Takodje je veoma važna činjenica da, i kod jedne i kod druge sile, rad zavisi **samo od početne i krajnje tačke putanje** a ne od načina kako se telo kretalo između njih. To je glavna osobina takozvanih *konzervativnih sila*.<sup>13</sup> Veoma važna posledica ove činjenice je da je rad konzervativnih sila, kada se početna i krajnja tačka putanje poklope, jednak nuli bez obzira na putanju kojom se sistem kretao.

<sup>12</sup>Napomenimo da se praktično identična analiza može izvršiti i pri sabijanju opruge. Sve do sada napisane formule koje se tiču potencijalne energije ostaju da važe, tako da je moguće govoriti o energiji deformacije opruge čime su obuhvaćena oba slučaja - i istezanje, i sabijanje.

<sup>13</sup>Kao što ćemo ubrzo videti ovaj naziv ima veze sa time što u tom slučaju važi odgovarajući zakon održanja odnosno konzervacije.

Interesantno je proanalizirati posledice teoreme (4.2), kada je reč o konzervativnih silama. U ovom slučaju ona može da se zapiše u obliku

$$A_c = \Delta E_k = E_{kf} - E_{ki},$$

gde je indeksom  $c$  kod rada istaknuto da je reč o konzervativnim silama. Kao što smo videli, kada je reč o njima, rad se vrši na račun nagomilane potencijalne energije i jednak je njenoj negativnoj promeni (4.8), pa je na osnovu toga

$$-\Delta E_p = \Delta E_k,$$

odnosno

$$\Delta E_k + \Delta E_p = 0.$$

Dobijena formula ukazuje na činjenicu da je, u slučaju konzervativnih sila, zbir promena kinetičke i potencijalne energije jednak nuli. Ova formula dobija veoma važan oblik ako se najpre eksplicitno zapišu promene energija

$$E_{kf} - E_{ki} + E_{pf} - E_{pi} = 0$$

a dobijeni izraz preuredi i zapiše kao

$$E_{ki} + E_{pi} = E_{kf} + E_{pf}.$$

Kako su početni i krajnji momenta izabrani proizvoljno, možemo da zaključimo da je zbir kinetičke i potencijalne energije, u slučaju kada tela interaguju samo konzervativnim silama, konstantan. Drugim rečima, zbir kinetičke i potencijalne energije se ne menja sa vremenom, odnosno važi da je

$$E_k + E_p = \text{const.} \quad (4.9)$$

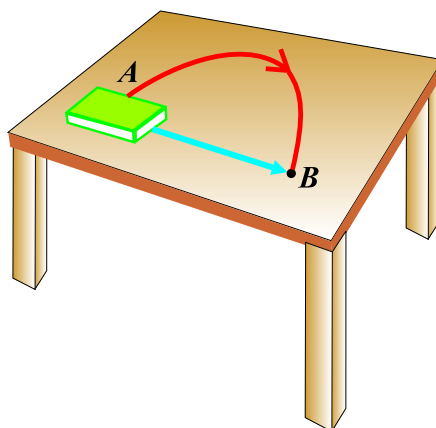
Dobili smo drugi iskaz teoreme (4.2), za slučaj kada deluju samo konzervativne sile, koji je poznat kao *zakon održanja (konzervacije) mehaničke energije*.

Zbir kinetičke i potencijalne energije sistema se naziva **mehanička energija**. Sistem na koji deluju samo konzervativne sile se naziva **zatvoren sistem** jer se njegova ukupna energija ne menja, već dolazi samo do promena formi energije, potencijalna prelazi u kinetičku i obratno.

### 4.3.2 Nekonkonzervativne sile, otvoreni sistemi

Obzirom da je za jednu klasu sila izabran poseban naziv *konzervativne*, interesantno je razmotriti i one druge koje to nisu, i koje se u skladu sa tim,

nazivaju *neKonzervativne*. NeKonzervativne sile su one sile čiji rad zavisi od putanje duž koje se vrši. Sila trenja je dobar primer za ovo, naime, za guranje knjige po stolu (slika 4.7) će različit rad biti izvršen u zavisnosti od putanje kojom je guramo od tačke *A* do tačke *B*.<sup>14</sup>

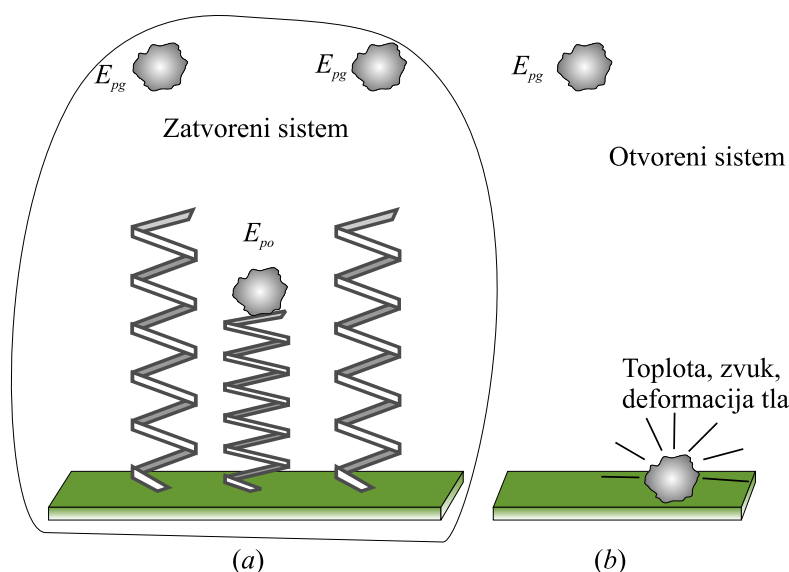


Slika 4.7: Gubitak kinetičke energije tela usled trenja zavisi od puta kojim se telo kreće.

Kako rad zavisi od putanje, u ovom slučaju nije moguće definisati potencijalnu energiju koja odgovara neKonzervativnoj sili. Još je važnija činjenica da se, pri radu neKonzervativnih sila, sistemu ili *dodaje* ili *oduzima* energija. Pri trenju se tako zagreva površina kojom su tela u kontaktu, odnosno kinetička energija tela prelazi u toplotnu energiju koja napušta sistem. Osim toga, čak i kada bi se ova toplotna energija nekako "uhvatila", ona ne može u potpunosti da se pretvori u rad.

Sistem u kome postoje neKonzervativne sile se naziva **otvoreni sistem**, zbog činjenice da energija može da ga napušta ili ulazi u njega, kao i da menja oblike u toku toga. Često se za takve sisteme kaže da ne važi zakon održanja energije, što bi moglo da nas navede na pomisao da se sada sa energijom dešava nešto mistično i neobjašnjivo. Videli smo da deo energije u ovom slučaju napušta sistem ili ulazi u njega, pri čemu je moguće odrediti i gde ona nestaje kao i to šta je njen izvor. Preciznije tvrdjenje je da se *mehanička* energija ne održava kada na sistem deluju neKonzervativne sile. Na primer, kada se automobil, kočanjem, usled trenja sa podlogom zaustavlja, gubi kinetičku energiju, pri čemu se ona oslobadja kao toplota što umanjuje njegovu mehaničku energiju.

<sup>14</sup>Pri ovome je naravno rad utoliko veći ukoliko je duža putanja.



Slika 4.8: (a) Zatvoreni sistem. Stena pada na oprugu koja se sabije i izbacuje je na istu visinu. (b) Otvoreni sistem. Kada ista stena padne na tlo, zaustavljaju je nekonzervativne sile i oduzimaju joj svu mehaničku energiju.

Na slici 4.8 su uporedno prikazani efekti konzervativnih i nekonzervativnih sila. Na delu (a) je prikaz zatvorenog sistema u kome se održava ukupna mehanička energija. Kamen u početku poseduje samo potencijalnu energiju  $E_{pg}$  usled toga što se nalazi u Zemljinom gravitacionom polju. Kada počne da pada deo potencijalne energije prelazi u kinetičku ali njihov zbir sve vreme ima istu vrednost.<sup>15</sup> Prilikom pada na oprugu, kamen izaziva njeno sabijanje povećavajući joj potencijalnu energiju a u momentu kada je opruga maksimalno sabijena ukupna mehanička energija sistema (kamen + opruga) je jednaka samo potencijalnoj energiji sabijene opruge  $E_{po}$ . Sabijena opruga izbacuje kamen na više i on nakon određenog vremena dostiže istu visinu na kojoj je bio i na početku posmatranja ovog procesa. U situaciji prikazanoj na delu (b) iste slike, kamen ne pada na oprugu već na tlo, koje na njega deluje nekonzervativnim silama koje izazivaju gubitka energije kod njega (disipaciju) pri čemu ta izgubljena energija prelazi u toplotu, zvuk i deformaciju površine tla.

Razmotrimo sada modifikaciju teoreme o radu i energiji za slučaj kada imamo posla i sa nekonzervativnim silama. Kao što smo videli, ukupni rad

<sup>15</sup>Ukoliko se zanemari otpor vazduha.

koji se izvrši nad sistemom, mora da bude jednak promeni njegove kinetičke energije. Ukupni rad međjutim, u principu, može da se sastoji od rada konzervativnih  $A_c$  i nekonzervativnih sila  $A_{nc}$ , odnosno

$$A = A_c + A_{nc}.$$

Na osnovu toga je

$$A_c + A_{nc} = \Delta E_k,$$

a kako je rad konzervativnih sila  $A_c = -\Delta E_p$ , konačno se dobija

$$A_{nc} = \Delta E_k + \Delta E_p. \quad (4.10)$$

Drugim rečima, ukupna mehanička energija  $E = E_k + E_p$  se menja tačno za iznos rada nekonzervativnih sila.

#### 4.4 Zakon održanja energije

Energija, kao što je već napomenuto, se održava i na taj način predstavlja jednu od najvažnijih fizičkih veličina u prirodu. Zakon održanja energije može da se formuliše na sledeći način: **Ukupna energija je konstantna u svakom procesu. Ona može samo da menja oblik i da prelazi iz sistema u sistem ali u celini ostaje jednaka tokom vremena.**

Do sada je već pomenuto nekoliko oblika energije kao i načina za prelazak od jednog sistema u drugi. Jasno je da je pogodno definisati dva tipa energije - mehaničku ( $E_k + E_p$ ), i energiju koja se pojavljuje usled rada nekonzervativnih sila  $A_{nc}$ . Energija međjutim može da ima razne forme, da se manifestuje na puno načina koje treba proučiti pre nego što se dodje do forme jednačine koja bi predstavljala zakon održanja energije.

Ako zbir svih ostalih formi energije, koje do sada nisu pominjane, označimo oznakom  $E_r$ , zakon održanja energije može da se zapiše u obliku

$$E_{ki} + E_{pi} + A_{nc} + E_{ri} = E_{kf} + E_{pf} + E_{rf}. \quad (4.11)$$

Svi tipovi energije i rada su na ovaj način uvršteni u formulu i ona je najopštija jednačina do sada koja predstavlja zakon održanja energije.

Kada i u kojim oblicima se javljaju energije  $E_r$ ? Na primer u slučaju leta aviona, njega moramo prvo da opteretimo gorivom (kerozinom) koje će pokretati njegove motore. U tom slučaju kerozin prilikom sagorevanja prelazi u kinetičku energiju kretanja aviona i u potencijalnu energiju jer se avion radom motora pokreće i podiže na određenu visinu. Deo energije

Objekat/fenomen	Energija u džulima
Big bang	$10^{68}$
Energija koju oslobadja supernova	$10^{44}$
Fuzija vodonika u okeanima	$10^{34}$
Godišnja potrošnja energije u USA	$8 \times 10^{19}$
Fuzionna bomba (9 megatona)	$3,8 \times 10^{16}$
1 kg vodonika (fuzija u helijum)	$6,4 \times 10^{14}$
1 kg urana (nuklearna fisija)	$8,0 \times 10^{13}$
Bomba bačena na Hirošimu (10 kilotona)	$4,2 \times 10^{13}$
1 barel sirove nafte	$5,9 \times 10^9$
1 tona TNT	$4,2 \times 10^9$
1 galon benzina	$1,3 \times 10^8$
Hrana koju u toku dana unese odrasla osoba	$1,2 \times 10^7$
Automobil od 1 tone pri brzini 90 km/h	$3,1 \times 10^5$
1 g masti	$3,9 \times 10^4$
1 g ugljenih hidrata	$1,7 \times 10^4$
1 g proteina	$1,7 \times 10^4$
komarac ( $m \sim 10^{-2}$ g) pri brzini od 0,5 m/s	$1,3 \times 10^{-6}$
1 elektron u katodnoj cevi televizora	$4,0 \times 10^{-15}$
1 elektron pod dejstvom napona od 220 V	$3,8 \times 10^{-17}$
Energija potrebna da pokida DNK lanac	$10^{-19}$

Tabela 4.1: Neke karakteristične vrednosti energija.

oslobodjene sagorevanjem kerozina prelazi medjutim u toplotu (jedna od oblika  $E_r$ ) i u rad protiv sila otpora vazduha  $A_{nc}$ .

Koji drugi oblici energija postoje? Moguće je nabrojati dosta njih koji do sada nisu pominjani. Električna energija je uobičajen oblik energije koja se transformiše u druge forme energija i koja se koristi za vršenje raznih vrsta rada u domaćinstvu i industriji. Puno energetske izvora na Zemlji u stvari predstavljaju energiju koja je došla sa Sunca a onda je usled nekih procesa uskladištena na odredjeni način. Takav je slučaj sa energijom koja se nalazi u hrani ili pak sa energijom koje poseduju vodotokovi. Nuklearna energija se dobija usled procesa u kojima se deo mase jezgara pretvara u energiju. Nuklearna energija se zatim koristi za dobijanje toplote i električne energije u elektranama, ili se pak oslobadja u eksplozijama bombi. Naredni vid energije je vezan za neprekidno i haotično kretanje atomi i molekula u telima. Odgovarajuća unutrašnja kinetička energija predstavlja toplotnu energiju, jer je u vezi sa temperaturom tela. Pobrajane forme energije kao

i sve ostale koje nisu pomenute, mogu da prelaze iz jednog oblika u druge i da se koriste za vršenje rada, međjutim uvek je ukupna količina energije konstantna odnosno održana.

## 4.5 Snaga

Kada se pomene reč *snaga* imamo više asocijacija iz života. Profesionalni bokser teške kategorija bi mogao da bude jedna od njih jer je reč očigledno o *snažnom* čoveku. Automobili formule jedan imaju veoma *snažne* motore za koje kažemo da su snažniji od motora običnih putničkih automobila, ... .

Sve ove predstave o snazi imaju kao zajedničku osnovu ideju da je reč o izuzetnoj sposobnosti da se izvrši rad a to je u skladu sa naučnom definicijom fizičke veličine **snaga**. **Snaga** je brzina vršenja rada, odnosno

$$P = \frac{A}{t}. \quad (4.12)$$

SI jedinica za snagu je J/s koja se takodje naziva i **vat** (W),<sup>16</sup> pri čemu je<sup>17</sup>

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3.$$

Pošto pri vršenju rada zapravo dolazi do prelaska energije, sa jednog tela na drugo, snaga predstavlja brzinu ovog prelaženja, odnosno utroška energije. Na primer sijalica od 60 W, troši 60 J energije u sekundi. Velika snaga znači veliku količinu energije koja se za kratko vreme utroši za vršenje rada. Ukoliko veliki automobil poveća za kratko vreme znatno svoju brzinu, to znači da je za taj interval vremena izvršen veliki rad koji je naravno povezan sa utroškom velike količine goriva.

Snaga Sunčevog zračenja koja dolazi do jedinične površine Zemlje (1 m<sup>2</sup>) ima maksimalnu snagu oko 1,2 kW. Veoma mali deo te energije ostaje uskladišten duže vreme na Zemlji. Čovečanstvo troši fosilna goriva daleko brže nego što se ona stvaraju uz pomoć Sunčeve energije, tako da je neizbežna činjenica da će se njihovi izvori u ne takoj dalekoj budućnosti osiromašiti.

Kada je reč o prelasku jednog oblika energije u drugi, retko se dešava da dolazi do kompletnog transfera. Na primer, obična sijalica sa užarenom niti, snage 60 W, konvertuje samo 5 W električne snage u svetlost, dok ostatak

<sup>16</sup>Po izumitelju parne mašine Džemsu Vatu (James Watt).

<sup>17</sup>Pogotovu kada je reč o snazi automobila često je u svakodnevnoj upotrebi britanska jedinica za snagu pod nazivom konjska snaga KS, čija veza sa SI jedinicom je data izrazom 1 KS=746 W.

Objekat/fenomen	Snaga u vatima
Supernova (na maksimumu snage)	$5 \times 10^{37}$
Mlečni put	$10^{37}$
Pulsar	$10^{28}$
Sunce	$4 \times 10^{26}$
Erupcija vulkana na ostrvu Sveta Jelena (maksimum)	$4 \times 10^{15}$
Munja	$2 \times 10^{12}$
Nuklearna elektrana	$3 \times 10^9$
Borbeni avion	$10^8$
Automobil	$8 \times 10^4$
Mašina za sušenje veša	$4 \times 10^3$
Čovek u stanju mirovanja (toplota)	100
Sijalica sa užarenim vlaknom	60
Srce čoveka u stanju mirovanju	8
Električni sat	3
Džepni digitron	$10^{-3}$

Tabela 4.2: Iznos snage u nekim procesima.

od 55 W predstavlja toplotu. Prosečna elektrana konvertuje 35 do 40% goriva u električnu energiju. Ostatak do 100% čini toplota koje elektrana mora da se oslobadja onom brzinom kojom se i stvara. Da bi nuklearna elektrana proizvela 1 000 MW električne snage, mora da utroši oko 2 800 MW nuklearne energije. Ostataka od 1 800 MW toplote, elektrana mora da se nekako oslobodi, usled čega mora da bude opremljena izvanrednim sistemom za hladjenje.

U svakom domaćinstvu postoje uređaji koji za svoj rad koriste električnu energiju. Na kraju meseca elektrodistribucija ispostavlja račune za utrošenu električnu energiju. Ukoliko znamo snagu uređaja koje koristimo i ako izmerimo vreme njihovog rada možemo da procenimo koliko smo energije potrošili. Jasno je da, što je veća snaga uređaja i što ga duže koristimo, više energije smo potrošili. Na osnovu izraza za snagu  $P = E/t$ , gde je  $E$  energija koju nam je isporučila elektrodistribucija, koju smo potrošili za interval vremena  $t$ , iznos utrošene energije je

$$E = Pt.$$

Na računima za utrošenu električnu energiju, ona je izražena u kW·h, odnosno u jedinici snage pomnožene vremenom korišćenja. Obzirom da je snaga uređaja obično data u kW, potrošenu energiju je najlakše izraziti u kW·h.

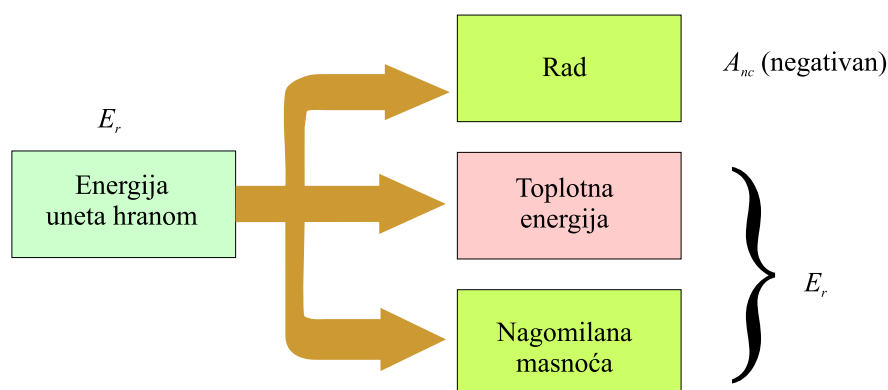


Pošto je iz napred izloženog jasno da je utrošena električna energija direktno proporcionalna snazi električnog uređaja i vremenu njegovog korišćenja, da bi smanjili potrošnju energije u domaćinstvu treba se truditi da umanjimo ili jedan ili drugi faktor. Pri ovome je takodje veoma važna efikasnost uređaja. Podsetimo se neverovatno male efikasnosti sijalice sa užarenom niti koja od 60 W snage u svetlost konvertuje samo 5 W dok ostatak predstavlja toplotne gubitke. Dakle, zamena takvih sijalica energetske efikasnijim dovodi do značajnog smanjenja utrošene električne energije.

#### 4.5.1 Energetika

#### 4.5.2 Rad, energija i snaga ljudi. Efikasnost

Naša tela, kao i svi živi organizmi, jesu objekti u kojima se odvija prelazak energije iz jednih oblika u druge. U njima se energija koju unosimo hranom, pretvara u tri glavna oblika energije: rad, toplotnu i hemijsku energiju koja se gomila u masnim naslagama, dok oko 5% unete energije ostaje neiskorišćeno i izlučuje se iz organizma. Udeo sa kojim se uneta energija pretvara u druge oblike, zavisi od toga koliko smo količinu hrane uneli u organizam kao i od nivoa njegove fizičke aktivnosti. Ukoliko jedemo više nego što nam treba, za funkcionisanje organizma, obavljanje uobičajenih fizičkih aktivnosti, odnosno rad, i za održavanje odgovarajuće temperature tela, višak hrane odlazi u masne naslage.



Slika 4.9: Energija koju unose živa bića hranom se transformiše u rad, toplotu i masne naslage. Daleko najveći deo odlazi na toplotu, a tačan odnos ovih oblika energije zavisi od fizičke aktivnosti.

Rad koji vrši ljudsko telo se ponekad naziva *korisnim radom*, a reč je

o radu koji se vrši nad telima van sistema (ljudskog organizma), kao što je na primer podizanje i prenošenje raznih tela. Koristan rad se vrši delovanjem sila kojima pomeramo tela koja se nalaze oko nas, a ne uključuje unutrašnji rad, kao što je na primer onaj koji vrši srce pumpajući krv. Međutim, koristan rad uključuje rad prilikom penjanja stepenicama ili rad pri ubrzavanju tela pri trčanju, pošto je izvršen delovanjem silama na objekte van tela. Sile kojima telo deluje su nekonzervativne, pa tako one menjaju ukupnu mehaničku energiju ( $E_k + E_p$ ) sistema na koji se deluje silama. To je obično i cilj vršenja rada nad spoljašnjim telima. Tako na primer, fudbaler šutirajući loptu povećava i njenu kinetičku i potencijalnu energiju.

Tela nisu međutim u mogućnosti da pretvore celokupnu količinu unete hrane, odnosno energije, u rad. Veliki deo unete energije se pretvara u toplotnu energiju. Sa druge strana, kada vršimo rad na drugim telima mi takodje proizvodimo dodatnu količinu toplotne energije proporcionalno izvršenom radu. Energetska efikasnost  $E_{ef}$  se definiše kao odnos izvršenog korisnog rada i unete energije, odnosno

$$E_{ef} = \frac{A_{iz}}{E_u}, \quad (4.13)$$

gde je  $A_{iz}$  izvršeni rad a  $E_u$  je energija koja je uneta u telo (hranom iz koje se varenjem dobija energija koju telo može da koristi). Kako je izvršeni rad takodje jedna od formi energije, efikasnost može takodje da se predstavi kao

$$E_{ef} = \frac{E_d}{E_u}, \quad (4.14)$$

gde je  $E_d$ , energija dobijena na osnovu unete energije u telo. Ova definicija se pomalo razlikuje od prethodne jer izvršeni rad ne mora da bude jednak dobijenoj energiji. Kako je, osim toga, snaga zapravo jednaka odnosu energije i vremena za koje se ona transferiše, ako i brojilac i imenilac relacije (4.14) podelimo vremenom, dobićemo izraz za efikasnost u kojem figurišu odgovarajuće snage

$$E_{ef} = \frac{P_d}{P_u}, \quad (4.15)$$

gde je  $P_u$  konzumirana odnosno uneta a  $P_d$  dobijena snaga koja se koristi za vršenje korisnog rada ii za dobijanje željene forme energije.<sup>18</sup>

U tabeli 4.3 su prikazane energetske efikasnosti (u procentima) sa kojima se odvijaju neke ljudske kao i neke aktivnosti u drugim sistemima. Obzirom

---

<sup>18</sup>Prva formula za efikasnost je preciznija jer u druga dva slučaja postoji elemenat subjektivnosti oko toga kako definisati željeni oblik dobijene energije, odnosno snage.

na zakon održanja energije, efikasnost ne može biti veća od 1, ili izraženo u procentima od 100%, ali je veoma važna činjenica da je ovaj koeficijent obično **znatno** manji od 1! Razlog za ovo leži u činjenici da svi pobrojani sistemi koriste ili toplotnu energiju ili pak hemijsku da bi iz njih dobili koristan rad.

Aktivnost/uređaj	Efikasnost (%)
Vožnja bicikle i penjanje uz uspon	20
Plivanje po površini vode	2
Plivanje pod vodom	4
Kopanje ašovom	3
Dizanje tegova	9
Parna mašina	17
Benzinski motor	30
Dizel motor	35
Nuklearna elektrana	35
Termoelektrana	42

Tabela 4.3: Efikasnost ljudskog tela i nekih mehaničkih uređaja.

Teškoća u dobijanju korisnog rada iz ovih vrsta energije se sastoji u tome što je na primer toplotna energija povezana sa haotičnim kretanjem atoma i molekula, dok je vršenje rada povezano sa visoko koordiniranim kretanjem prilikom koga sila deluje i pomera neko telo za određeno rastojanje.<sup>19</sup>

Efikasnost ljudskog tela je ograničena u prvom redu efikasnošću mišića u konvertovanju hrane unete u organizam u koristan rad. Mišić sam za sebe, može da ima efikasnost između 25 i 30%. Kod određivanja ukupne efikasnosti moramo da uzmemo u obzir energiju koja je potrebna za funkcionisanje celog tela pa je usled toga njegova efikasnost uvek znatno manja od efikasnosti individualnog mišića.

Hrana koja se unosi u organizam jeste, kao što je naglašeno ranije, jedna od "ostalih" vrsta energije koje smo označili sa  $E_r$ . Prilikom njenog varenja ona prelazi u druge oblike energije. U metaboličkim procesima se pri tom vrši oksidacija tako da se potrošnja energije pri aktivnostima ljudskog tela može odrediti merenjem količine kiseonika koji se pri tome iskoristi.<sup>20</sup>

<sup>19</sup>Haotičnim kretanjem atoma i molekula je nemoguće koordinirati i pretvoriti ga u usmereno kretanje, pa se za vršenje rada na osnovu toplotne energije primenjuju druge metode o kojima će biti reči u oblasti termodinamike.

<sup>20</sup>Kako su metabolički procesi slični drugim oksidacionim procesima, energetska vrednost hrane se određuje njenim sagorevanjem i merenjem toplote koja se pri tome oslobodi.

Brzina kojom ćemo izvesti neku fizičku aktivnost je veoma važna (na primer trke atletičara). Što je za kraće vreme izvršena aktivnost, veća je i njena takozvana izlazna snaga. Ukoliko želimo da se trčećim korakom popnemo uz stepenice, izlazna snaga aktivnosti,  $P = \frac{mgh}{t}$  ( $m$  je masa našeg tela a  $h$  je visina na sprata na koji se penjemo za vreme  $t$ ), će biti veća nego kada se penjemo ne žureći. Razlog je u tome što je u prvom slučaju vremenski interval, za koji je telu promenjena potencijalna energija za istu vrednost  $mgh$ , manji. Iako je izvršeni rad isti u oba slučaja i iznosi  $mgh$ , efekti koje imaju ovakve ativnosti na telo nisu isti. Naporne aktivnosti izazivaju porast u srčanim i respiratornim aktivnostima i mogu da imaju i dugotrajniji uticaj na metaboličke procese u telu.

Aktivnost	$E/t$ [kcal/min]	$E/t$ [W]	$O_2$ [l/min]
Spavanje	1,2	83	0,24
Sedenje	1,7	120	0,34
Stajanje	1,8	125	0,36
Sedenje u učionici	3,0	210	0,60
Šetanje (4,8 km/h)	3,8	265	0,76
Vožnja bicikle (13-18 km/h)	5,7	400	1,14
Drhtanje	6,1	425	1,21
Igranje tenisa	6,3	440	1,26
Prsno plivanje	6,8	475	1,36
Klizanje na ledu (14,5 km/h)	7,8	545	1,56
Penjanje uz stepenice (116/min)	9,8	685	1,96
Vožnja bicikle (21 km/h)	10,0	700	2,00
Kros trčanje	10,6	740	2,12
Igranje košarke	11,4	800	2,28
Vožnja bicikle (trke)	26,5	1855	5,30
Sprintanje	34,5	2415	6,90

Tabela 4.4: Utrošak energije i kiseonika ( $O_2$ ) u jedinici vremena. Podaci su dati za prosečnog čoveka mase 76 kg.

Apsolutno sve aktivnosti ljudskog organizma, od razmišljanja do dizanja tegova zahtevaju utrošak energije. Situacije u kojima je telo na prvi pogled vema malo aktivno (prilikom spavanja, češkanja po glavi) su obavezno praćene vidljivim i nevidljivim aktivnostima određenih mišića (srce, pluća, digestivni trakt). Drhtanje tela kada nam je hladno je nevoljna reakcija na snižavanje temperature tela, pri kojoj se mišići kontrahuju i relaksiraju i pri

tome proizvode toplotu. Bubrezi i jetra troše iznenadjujuće veliku količinu energije a čak 25% energije unete u telo se koristi za održavanje električnog potencijala u ćelijama.<sup>21</sup>

## 4.6 Impuls. Zakon održanja impulsa

### 4.6.1 Impuls i drugi Njutnov zakon

Impuls se definiše kao proizvod mase sistema i njegove brzine, odnosno

$$\vec{p} = m\vec{v}, \quad (4.16)$$

i reč je o vektorskoj veličini istog pravca i smera kao brzina  $\vec{v}$ . SI jedinica za impuls je  $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ . Veliki značaj impulsa fiziku je uočen veoma rano, pre nego što je to bio slučaj sa energijom. Impuls je smatran toliko značajnim da je dobio i ime "količina kretanja". Čak je i Njutn, svoj drugi zakon, formulisao ne preko ubrzanja, već preko impulsa tvrdnjom da je rezultujuća spoljašnja sila koja deluje na sistem jednaka promeni impulsa sistema u jedinici vremena, odnosno

$$\vec{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}, \quad (4.17)$$

gde je  $\vec{F}$  rezultujuća spoljašnja sila,  $\Delta\vec{p}$  je promena impulsa a  $\Delta t$  vremenski interval za koji se ona desila. Ova, izvorna, forma II Njutnovog zakona je zapravo i najopštija. Ranija formulacija (3.2) je u stvari samo jedan specijalan slučaj koji može relativno lako da se izvede iz sada navedenog oblika. Primetimo prvo da je promena impulsa

$$\Delta\vec{p} = \Delta(m\vec{v}).$$

Ukoliko je masa tela konstantna, promena impulsa je

$$\Delta(m\vec{v}) = m\Delta\vec{v},$$

pa II Njutnov zakon, za tela konstantne mase, glasi

$$\vec{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} = \frac{m\Delta\vec{v}}{\Delta t}.$$

Kako je  $\Delta\vec{v}/\Delta t = \vec{a}$ , ovaj izraz poprima uobičajen oblik

$$\vec{F} = m\vec{a}.$$

Njutnov zakon u izvornom obliku (4.18) je mnogo opštiji jer može da se primeni i na sisteme čija masa se menja sa vremenom (na primer raketa) kao i na one čija masa je konstantna.

<sup>21</sup>Nervne ćelije koriste te potencijale za prenošenje nervnih impulsa.

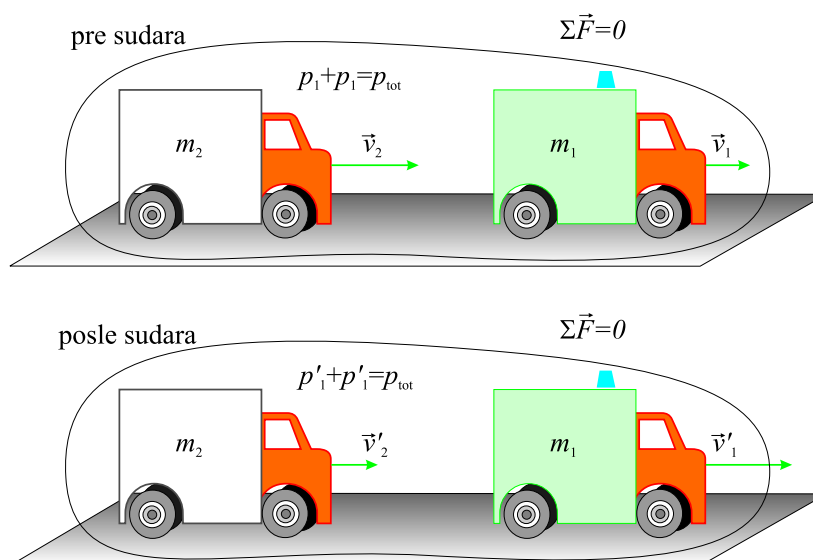
### 4.6.2 Zakon održanja impulsa

Intuitivno je jasno da efekat delovanja sile na neko telo zavisi od veličine primenjene sile i od toga koliko dugo deluje na njega. Promena impulsa tela  $\Delta\vec{p}$ , pri delovanju neke sile  $\vec{F}$  za interval vremena  $\Delta t$  je, prema jednačini (4.18)

$$\Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t.$$

Veličina  $\vec{F}\Delta t$  se naziva *impuls sile*, i kao što vidimo, ona je jednaka promeni impulsa, odnosno količine kretanja, tela.

Slično energiji, i za impuls važi zakon održanja, naravno pod određenim uslovima. Da bi došli do njih pogodno je analizirati situaciju koja se dešava pri laganom sudaru na primer dva kamiona (slika 4.10). Neka su se oba kretala u istom smeru i neka je drugi, krećući se većom brzinom sustigao prvi i udario u njega.



Slika 4.10: Kamioni pre i posle sudara. Ukupan impuls sistema ostaje nepromenjen.

Kao rezultat sudara, drugom kamionu se smanjuje brzina, dok se prvom povećava. Pokazaćemo da se pri ovome ukupan impuls sistema ne menja.

Promena impulsa prvog kamiona je

$$\Delta p_1 = F_1 \Delta t,$$

gde je  $F_1$  sila kojom na kamion 1 deluje kamion 2, dok je  $\Delta t$  vreme trajanja sudara. Slično, promena impulsa drugog kamiona je

$$\Delta p_2 = F_2 \Delta t,$$

gde je  $F_2$  sila kojom na kamion 2 deluje kamion 1, dok je vreme trajanja sudara  $\Delta t$  isto u oba slučaja. Prema trećem Njutnovom zakonu, je  $F_2 = -F_1$ , pa će biti

$$\Delta p_2 = -F_1 \Delta t = -\Delta p_1.$$

Prema tome, ukupna promena impulsa sistema je

$$\Delta p_1 + \Delta p_2 = 0,$$

iz čega sledi da je ukupna impuls sistema konstantan, što se, piše kao

$$p_1 + p_2 = \text{const}, \quad \text{odnosno } p_1 + p_2 = p_1' + p_2'.$$

U ovom izrazu su  $p_1'$  i  $p_2'$  impulsi jednog i drugog kamiona nakon sudara.

U razmatranom primeru, tela su se kretala u jednoj dimenziji, ali slični izrazi važe i ako se tela kreću u više dimenzija, uz uslov da je sistem izolovan, odnosno da je rezultanta svih sila jednaka nuli. Drugim rečima, za izolovan sistem, važi zakon održanja impulsa koji se zapisuje kao

$$\vec{p}_{tot} = \text{const}, \quad \text{ili } \vec{p}_{tot} = \vec{p}'_{tot}, \quad (4.18)$$

gde je sa  $\vec{p}_{tot}$  označen ukupan impuls sistema u nekom momentu vremena, a  $\vec{p}'_{tot}$  je takodje ukupan impuls ali u nekom docnijem momentu vremena.

## 4.7 Zadaci

1. Koliko je mesečni (uzeti da mesec ima 30 dana) trošak slušanje muzike na stereo aparatu snage 200 W ukoliko se on koristi 6,0 h dnevno u periodu kad je cena kilovat časa električne energije 3,8 dinara?
2. Odrediti energetska efikasnost dizača tegova koji metabolizira 8,00 kcal hrane dok podiže tegove od 120 kg na visinu od 2,30 m.

## 4.8 Rešenja

1. Utrošena električna energija u kW·h je

$$E = Pt = (0,200 \text{ kW})(6,00 \text{ h/dan})(30 \text{ dana}) = 36,0 \text{ kW} \cdot \text{h},$$

a koštaće

$$\text{Cena} = (36,0 \text{ kW} \cdot \text{h})(3,8 \text{ din/kW} \cdot \text{h}) = 136,8 \text{ dinara.}$$

2. Korisni izvršeni rad je u ovom slučaju jednak promeni potencijalne energije tegova koja, odnosno  $A_{iz} = E_d = mgh$ , pa je energetska efikasnost

$$E_{ef} = \frac{mgh}{E_u},$$

gde je uneta količina energije  $E_u = (8,00 \text{ kcal})(4186 \text{ J/kcal}) = 33,488 \text{ J}$ .  
Na osnovu ovoga je energetska efikasnost

$$E_{ef} = \frac{(120 \text{ kg})(9,80 \text{ m/s}^2)(2,30 \text{ m})}{33,488 \text{ J}} = 0,0833 = 8,33\%.$$