

# PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 4 (1976/1977)

Številka 4

Strani 209-213

Janez Strnad:

## KAJ JE ENERGIJA? II. Del

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/4/4-4-Strnad.pdf>

© 1977 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2009 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.



## KAJ JE ENERGIJA ?

## II. DEL

Ko smo že pri tem, si oglejmo še pot, po kateri pridemo do energijskega zakona v šoli. Na začetku iz Newtonovega zakona izpeljemo *izrek o kinetični energiji*: sprememba kinetične energije telesa je enaka skupnemu delu zunanjih sil. Od sil nastopajo nekatere posebno pogosto, na primer teža. Tako silo izdvojimo in posebej izračunamo njeno delo. Če ima ta sila posebno lastnost - če je *konservativna* - prenesemo njeno delo na drugo stran izreka o kinetični energiji in ga z negativnim znakom proglasimo za spremembo potencialne energije. Tako dobimo *izrek o kinetični in potencialni energiji*: sprememba kinetične in sprememba potencialne energije sta enaki skupnemu delu preostalih zunanjih sil, to je zunanjih sil razen konservativne sile. Dela konservativne sile seveda ne smemo upoštevati na desni strani izreka, saj smo ga upoštevali kot spremembo potencialne energije na levi.

Sila je konservativna, če je delo, ki ga opravi pri premiku točkastega telesa, odvisno le od začetne in končne lege telesa, ne pa od poti, po kateri premaknemo telo iz začetne lege v končno. Pri premiku, ki privede telo zopet v začetno lego, je delo konservativne sile - vzeto v celoti - enako nič. Teža in druge gravitacijske sile ter električne sile med nabitimimi telesi so konservativne. Trenje in upor pa sta nekonservativni sili. Lahko izdvojimo vse konservativne sile in upoštevamo njihovo negativno delo na levi strani izreka o kinetični in potencialni energiji kot spremembe potencialnih energij. Na desni strani izreka ostane potem samo še delo nekonservativnih sil.

Potencialno energijo pripišemo ponavadi telesu, ki ga premikamo v polju sile, na primer kamnu, ki ga premikamo v zemeljskem težnem polju. To je koristno, a ni čisto dosledno. Polje sil namreč izvira iz drugega telesa, to je Zemlje, in je potencialna energija pravzaprav skupna last telesa v polju in izvira polja, to je kamna in Zemlje. Podobno je tudi pri električni potencialni energiji: v vodikovem atomu pripišemo potencialno energijo elektronu, čeprav je pravzaprav skupna last elektrona in protona.

Vzemimo, da bi sestavili Zemljo iz dveh polovic, ki bi bili na začetku v veliki medsebojni razdalji. Seveda se bi pri tem spremenila skupna gravitacijska potencialna energija obeh teles. Toda potencialne energije ne bi bilo smiselno pripisati prvi ali drugi polovici. Pripišemo jo gravitacijskemu polju. Navadno izračunamo *gostoto energije gravitacijskega polja*, to je energijo polja na prostorninsko enoto.

Podobno je pri električnem polju. Skupna električna potencialna energija obeh nabojev se spremeni, ko spravimo pozitivni naboj na prvo elektrodo kondenzatorja in negativnega na drugo. Te energije ne pripišemo prvemu ali drugemu naboju, ampak kondenzatorju. Po nadaljnjem premisleku jo pripišemo električnemu polju med elektrodama. Preračunamo jo na prostorninsko enoto in dobimo *gostoto energije električnega polja*. Nič drugače ni z energijo tuljave s tokom, ki jo pripišemo njenemu magnetnemu polju in nato izračunamo

*gostoto energije magnetnega polja*. Vpeljava gostote energije polja je zelo koristen korak. V potujočem valovanju bi bilo namreč skoraj nemogoče ugotoviti, od kod izvira kak prispevek k energiji. Tako pa v elektromagnetnem valovanju pripišemo energijo električnemu in magnetnemu polju.

V termodinamiki odpove izrek o kinetični in potencialni energiji. Izbrani masi vode v toplotno izolirani posodi dovedemo na primer z mešanjem delo pri konstantnem tlaku, ne da bi se po končanem mešanju spremenili kinetična in potencialna energija. Opazimo pa, da se voda segreje. Temperaturna razlika je odvisna samo od dovedenega dela. Vse to kaže, da nastopa še notranja energija, ki jo popolnoma določata temperatura in tlak. Notranja energija vode se poveča tudi, če je lonec na štedilniku, a ne dovajamo dela. To nas prepriča, da moramo poleg dela upoštevati še toploto.

Pred nami je energijski zakon ali *prvi zakon termodinamike*. V njem združimo kinetično, potencialno in notranjo energijo v polno energijo. Po potrebi dodamo še druge energije. Poleg mehanskega dela moramo priznati še električno delo\*, poleg toplote, ki jo dobi sistem od telesa, s katerim je v stiku, pa še toploto, ki jo dobi s absorpcijo svetlobe in drugega kratkovalovnega elektromagnetnega valovanja.

Energijski zakon je tako imeniten, ker velja popolnoma splošno in je uporaben v vseh območjih fizike. Ni pojava, pri katerem bi se izneveril. O tem so nas prepričali tudi številni brezuspešni poskusi, da bi zgradili *perpetuum mobile prve vrste*. To bi bil stroj, ki bi oddajal delo, ne da bi mu dovajali delo ali toploto in ne da bi prišlo v njem do trajnih sprememb.

Vendar je treba biti previden, ko uporabimo energijski zakon za napovedovanje sprememb. Zakon je preširok: dopušča spremembe, ki v naravi niso izvedljive. Za zgled obdelajmo spremembo, ki ima dva koraka. Najprej dovedimo 1kg vode z mešalom delo 4200J, da se segreje za 1K. Nato naj voda odda toploto 4200J hladnejši okolici in se ohladi na začetno temperaturo. Najprej se notranja energija vode poveča na račun dovedenega dela, nato pa se zmanjša na začetno vrednost na račun odvedene toplote. Zdaj si zamislimo obratno spremembo. Najprej dovedimo vodi iz toplejše okolice toploto 4200J, da se segreje za 1K. Nato naj bi voda na mešalu opravila delo 4200J in se ohladila na začetno temperaturo. Zdaj se najprej notranja energija vode poveča na račun dovedene toplote, nato pa naj bi se zmanjšala na začetno vrednost na račun odvedenega dela. Obe spremembi - prvotna in obratna - sta v skladu z energijskim zakonom. Prvotna sprememba je izvedljiva, a obratna sprememba (zaradi drugega koraka) ni izvedljiva.

Po izkušnjah s tem in z drugimi poskusi sklepamo, da ni mogo-

\* Napačno je govoriti o "*energiji električnega toka*" in pri tem misliti na električno delo, ki ga dobi upornik od generatorja in odda okolici kot Joulovo toploto, če ima konstantno temperaturo.



če zgraditi *perpetuum mobile druge vrste*\*\* . To bi bil *toplotni stroj*, ki bi mu dovajali samo toploto in bi oddajal tolikšno delo. S toplotnim strojem mislimo na stroj, ki se vedno znova vrača v začetno stanje, se pravi, da ponavlja *krožno spremembo* (glej prispevek R. Jermana *Stirlingov stroj*, Presek 4 (1976)17).

Toplotni stroj odda delo le, če mu dovedemo toploto pri višji temperaturi in če odda toploto pri nižji temperaturi. Razlika dovedene toplote in odvedene toplote odda stroj kot delo. Oddano delo je kvečjemu enako dovedena toplota  $\times (1 - T_1/T_2)$ , če je  $T_2$  najvišja temperatura, pri kateri dovajamo stroju toploto, in  $T_1$  najnižja temperatura, pri kateri jo od njega odvajamo. Navadno je oddano delo še precej manjše.

Temperatura  $T_2$  ne more biti višja kot kakih 600K. (Nad kritično temperaturo vode 617K pri še tako velikem tlaku voda, ki jo uporabljamo na primer v parnih strojih in parnih turbinah, ne more biti v kapljevinskem stanju.) Temperatura  $T_1$  se navadno suče okoli 350K. Tako izkoristi toplotni stroj le slabo tretjino dovedene toplote in jo odda kot delo. Dobri dve tretjini dovedene toplote odda toplotni stroj okolici kot toploto pri nižji temperaturi.

Toplotnemu stroju dovajamo toploto, ki nastane na račun zmanjšanja notranje energije ob sežigu goriva, na primer premoga, bencina ali plinskega olja ali zemeljskega plina. Neovrgljivo dejstvo je, da lahko s toplotnimi stroji izkoristimo samo majhen del notranje energije goriva za delo. Po domače bi lahko rekli, da je notranja energija glede možnosti za spreminjanje v delo s toplotnimi stroji slabša kot druge energije. To je daljnosežna ugotovitev, ki prispeva k tesnobi o preskrbi z energijo v prihodnosti, saj krijemo veliko večino potreb po delu prav na ta način.

V tej zvezi je poučen pregled porabe energije za 1975 v naši republici (Sl.5). Delo, ki so ga oddale elektrarne (A), so porabili za segrevanje in razsvetljavo - uporniki so ga oddajali kot Joulovo toploto - in v manjši meri za poganjanje motorjev - ti so ga oddajali kot delo. Toploto, ki so jo oddajala goriva

\*\* Perpetuum mobile prve vrste bi nasprotoval prvemu zakonu termodinamike ali energijskemu zakonu, perpetuum mobile druge vrste pa drugemu zakonu termodinamike ali entropijskemu zakonu, do katerega pridemo z nadaljevanjem začete razprave o reverzibilnih in ireverzibilnih spremembah.

Pregled porabe energije za 1975 v SR Sloveniji

A elektrarne

vodne	$0,84 \cdot 10^{16}$ J		
termične	$1,28 \cdot 10^{16}$ J		
skupaj	$2,12 \cdot 10^{16}$ J	industrija	$1,42 \cdot 10^{16}$ J
		promet	$0,06 \cdot 10^{16}$ J
		preostalo	$0,64 \cdot 10^{16}$ J

B goriva

trdna	$2,95 \cdot 10^{16}$ J		
kapljevinska	$6,49 \cdot 10^{16}$ J		
plinska	$0,35 \cdot 10^{16}$ J		
toplarna	$0,25 \cdot 10^{16}$ J	industrija	$4,54 \cdot 10^{16}$ J
skupaj	$10,0 \cdot 10^{16}$ J	promet	$2,82 \cdot 10^{16}$ J
		preostalo	$2,68 \cdot 10^{16}$ J

elektrarne in goriva skupaj  
 $12,2 \cdot 10^{16}$  J

Sl.5 Tako rabimo energijo v Sloveniji. Podatki so posneti po *Osvetku energetske bilance v letih 1976-1980* z dne 19.5.1976. Navadno so preglednice sestavljene v *terakalorijah*, 1 teracal =  $4,2 \cdot 10^{12}$  J, ali v *milijardah kilovatur*, 10<sup>9</sup> kWh =  $3,6 \cdot 10^{15}$  J.

Pri termičnih elektrarnah je navedeno oddano električno delo. Dovedena toplota, ki jo je treba dobiti s sežigom goriv (to ni zajeto v B), je okoli trikrat večja. V tem pogledu so jedrske elektrarne podobne termičnim. Razlika lastnih energij pri cepitvi jeder uranovega izotopa 235 se porabi za povečanje notranje energije hladilne vode, ki jo odda kot toploto parni turbini. Tako bo na primer jedrska elektrarna Krško prejela okoli 1800MW toplotnega toka, a oddajala le 600MW električne moči.

Pri "toplarni" je upoštevana oddana toplota ljubljanske toplarne (termične elektrarne), ki jo uporabljamo za ogrevanje prostorov. To je - gledano dolgoročno - posnemanja vredno varčevanje z energijo.

Energija, ki jo porabimo na Zemlji, izvira s Sonca, na katerem poteka zlivanje lahkih atomskih jeder. Vodne elektrarne izkoriščajo potencialno energijo vode, peči in toplotni stroji pa notranjo energijo goriv.

(B), so porabili večinoma v pečeh za segrevanje, na primer v metalurški industriji za taljenje kovin ... in v gospodinjstvih, samo v manjši meri za poganjanje strojev na notranje izgorevanje. Iz  $2,82 \cdot 10^{16}$  J toplote so dobili ti stroji samo okoli  $0,7 \cdot 10^{16}$  J dela. V končnem podatku  $12 \cdot 10^{16}$  J je tedaj razmerje med delom in toploto zelo majhno, po oceni nekako 1 : 16. Na sto joulov vložene energije odpade samo kakih šest joulov dela.

Tudi to delo se naposled - enako kot toplota - porabi za povečanje notranje energije: zaradi trenja in upora pri premikanju motorjev in vozil se segreje okolica.

Gledanje na energijo se je v zadnjih letih precej spremenilo, ko smo se ljudje vse bolj začeli zavedati omejenosti njenih izvirov. To je razlog več, da ne govorimo o energiji kot o zalogi dela brez dodatnih pojasnil.

---

*Janez Strnad*

---