

Temeljni koncepti termodinamike

Ivica Aviani, Institut za fiziku, Zagreb

Koncepti termodinamike u našim udžbenicima temelje se na molekularno-kinetičkoj teoriji koja objašnjava pojmove temperature i unutrašnje energije. Pritom se u osnovi koriste koncepti idealnog plina. Oni mogu dobro opisati pojedino stanje plina, ali ne mogu objasniti kako nastaje promjena stanja plina te kako nastaje i što je termodinamička ravnoteža. Razlog tome je ne uključivanje u razmatranje međudjelovanja molekula i uloge entropije.

Entropija se spominje na kraju nastavne cjeline i to samo usputno, kao mjera „nereda“, bez dubljeg povezivanja s ranije spomenutim termodinamičkim konceptima. Na taj način nastaju poteškoće u razumijevanju termodinamike. Naime, za razliku od mehanike u kojoj makroskopska tijela nastoje zauzeti položaj ili stanje najniže energije, termodinamički sustavi teže još nečem. Osim što nastoje poprimiti što nižu energiju istodobno teže što većem povećanju entropije. Stoga kod njih, u ravnotežnom stanju, niti je energija minimalna niti entropija maksimalna, nego je postignuto stanje ravnoteže između tih dviju krajnosti, temeljem kompromisa dvaju spomenutih principa. Većinu termodinamičkih pojava nije moguće razumjeti bez takvog koncepta termodinamičke ravnoteže.

Sam koncept entropije nije poželjno poistovjećivati s konceptom nereda koji dolazi iz našeg makrosvijeta. Treba ga dovesti u vezu s prirodnom težnjom energije da se širi u prostor¹. To se jednako odnosi na kinetičku energiju čestica kao i na energiju zračenja. Energija je prema prvom zakonu termodinamike posebna fizikalna veličina čija je količina sačuvana, ali prema drugom zakonu termodinamike ima težnju da se što ravnomjernije proširi svugdje gdje god je to moguće. Prestanak daljnjeg širenja energije nastaje samo lokalno nakon postizanja termodinamičke ravnoteže odnosno nakon izjednačavanja temperatura bliskih predmeta čime se, prema nultom zakonu termodinamike, uvodi pojam temperature. Treći zakon termodinamike, odnosi se na nemogućnost doseganja temperature apsolutne nule, a zapravo ukazuje na nemogućnost potpunog uklanjanja energije iz bilo kojeg dijela svemira. To nije moguće niti uz najbolju izolaciju jer se energija prenosi i zračenjem te nastoji prodrijeti baš svugdje.

Izuzetno slaba zastupljenost u nastavnim programima i udžbenicima je fizika prijenosa topline koja se odvija direktnim vođenjem, konvekcijom i zračenjem. Ova fizikalna tema je bitna za razumijevanje termodinamičkih procesa te osnova za vodeće ekološke teme u vezi štednje energije i toplinskog zagađenje okoliša. Na radionici ćemo raspraviti o toj problematici i pokušati sagledati što sve možemo

¹ F. L. Lambert, *The Conceptual Meaning of Thermodynamic Entropy in the 21st Century*, International Research Journal of Pure & Applied Chemistry **1**, 65 (2011)

napraviti kako bi se nastavni planovi i programi, odnosno kurikulum, izravnije posvetili ovoj temi.

Tema termodinamike usko je povezana uz interdisciplinarnost i proučavanje atraktivnih tema kao što su iskorištavanje energije, alternativni izvori energije, suvremena tehnologija, klimatske promjene, život, ekološki sustavi, toplinske pumpe, hladnjaci, uragani, zvijezde, crne rupe, veliki prasak. To je također tema koja je usko povezana sa širim ciljevima prirodoslovnog obrazovanja. Iako se termodinamički procesi često spominju u okviru različitih područja znanosti, tehnologije i obrazovanja, oni i dalje uzrokuju konceptualne poteškoće, čak i kod stručnjaka. S obzirom na velike razlike između naivnog razumijevanja i znanstvenog razumijevanja ova tema daje odličan kontekst u kojem se potiču promjene u načinu razmišljanja. Konceptualno razumijevanje nije moguće bez mikroskopske predodžbe građe tvari te njene dinamike, što temu obogaćuje i otvara mogućnosti za preispitivanje postojećih (ne)znanja. Stoga je cilj ove radionice potaknuti diskusiju o konceptima poput topline, temperature, toplinske ravnoteže, prijenosa topline, zakona termodinamike, toplinskih strojeva.

Besplatni edukativni programi (apleti)ⁱ omogućuju zorni prikaz mikroskopskih modelnih stanja tvari uz mogućnost varijacije fizičkih parametara kao što su temperatura, tlak, obujam, broj čestica, međudjelovanje itd. To omogućuje simulaciju stanja plina i plinskih zakona, simulaciju Brownovog gibanja i difuzije, simulaciju krutog i tekućeg stanja tvari, simulaciju koegzistencije faza itd. Moguće je promatrati raspodjelu brzina čestica te gledati utjecaj međudjelovanja čestica na postizanje termodinamičke ravnoteže. Uvođenjem vanjskog gravitacijskog polja moguće je simulirati uvjete Zemljine atmosfere u kojima se gustoća čestica mijenja s visinom. Ovi uvjeti su odličan primjer za demonstraciju natjecanja principa minimalne energije i maksimalne entropije u termodinamičkom sustavu. Bez gravitacijskog polja pobjeđuje princip maksimalne entropije, a sustav se ponaša kao slobodni plin. Time zorno pokazujemo da jednadžba plina kakvu poznajemo opisuje stanje maksimalne entropije plina te da diskusiju o entropiji u kontekstu jednadžbe plina ne bi smjeli ispuštati. Na radionici će biti riječi o tome kako i u kojem kontekstu koristiti navedene programe u nastavi kako bi se stekao neophodan zor nužan za kvalitativno razmatranje i razumijevanje složenijih termodinamičkih pojava.

U nastavnom procesu poželjno je osvijestiti i sagledati najčešće učeničke pretkonceptije. One su rezultat susreta s toplinom kao izuzetno važnim uvjetom života još u djetinjstvu kroz igru i istraživanje svijeta. Na radionici ćemo navesti primjere najčešćih učeničkih pretkonceptija i zabluda. Naime postoje zablude koje su učenici preuzeli najviše putem sredstava javnog informiranja i Interneta, ali ponekad i putem nastavnih sredstava.

Radionica ima za cilj razmatranje i uvođenje aktivnosti na nastavi fizike kojima se učeničke poteškoće u razumijevanju nastoje prevladati. Uz pomoć odabranih pokusa te kroz prikladan razgovor s učenicima možemo omogućiti brzo stjecanje osnovnih znanja potrebnih za razumijevanje termodinamike. Uz jasnu mikroskopsku sliku, ključni pojmovi koje treba savladati su termodinamička ravnoteža, pojam protoka toplinske energije i sposobnost razlikovanja topline i temperature.

Bolje razumijevanje termodinamike otvara niz zanimljivih interdisciplinarnih tema koje je moguće obrađivati u srednjoškolskoj nastavi u okviru seminarskih radnji ili učeničkih projekata. Primjerice: Zašto je unutrašnjost Zemlje užarena? Zašto je

temperatura oceana pri dnu bliska ledištu vode? Što je to pozadinsko zračenje svemira? Kako se i zašto s visinom mijenja temperatura Zemljine atmosfere? Kako rade molekularni motori? Kako radi Ranque-Hilschova cijev? Kako se postižu najniže temperature?

ⁱ <http://phet.colorado.edu/>