



Načelo rada toplinskog stroja

Roko Pešić¹

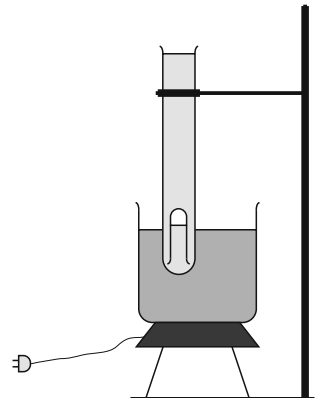
Uvod

Pogledajmo jedan primjer zanimljivog, a relativno jednostavnog pokusa pogodnog za izvođenje u školskom fizikalnom kabinetu. Pokus ne zahtijeva složenu i skupu tehničku opremu, a njime na zoran način pokazujemo učinak jednog od najvažnijih i najdalekosežnijih zakona klasične fizike – drugog zakona termodinamike. Taj zakon određuje princip i ograničenja rada svih vrsta toplinskih strojeva, npr. motora s unutarnjim izgaranjem, hladnjaka, toplinskih crpki itd.

Za pokus je potrebna ova oprema:

- duža staklena epruveta obujma do 500 cm^3 (0.5 litara),
- ronilac (tj. plovak, staklena epruvetica),
- metalna ili staklena vatrostalna posuda obujma do 1000 cm^3 (1 litru),
- električno kuhalo (ali može i neki drugi izvor topline, npr. Bunsenov plamenik s regulacijom jačine plamena),
- stalak s pomičnim držačem za menzuru.

U staklenu posudu ulijemo vodu (ne do vrha) i stavimo ju na kuhalo. Staklenu epruvetu napunimo skoro do vrha vodom i pričvrstimo ju za držač stalka. U epruvetu ubacimo ronilac djelomično napunjen vodom (toliko da potone na dno epruvete). To je početni postav eksperimenta (vidi sliku 1). Nakon toga uključimo kuhalo i promatramo što se događa.



Slika 1. Shematski prikaz početnog postava pokusa.

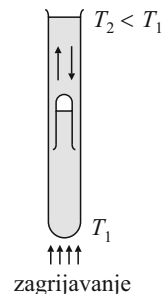
Tijek pokusa

Kada se voda u posudi dovoljno zagrije ronilac, koji se nalazi na dnu epruvete, početi će se polako dizati prema vrhu epruvete. Kada stigne blizu površine vode (tj. blizu otvora epruvete) razina vode u njemu će naglo porasti i on će početi tonuti prema dnu epruvete. Nakon dolaska na dno, razina vode unutar ronioca će se spustiti i on će se opet početi dizati itd. (slika 2). Taj proces dizanja i spuštanja ronioca će trajati neko vrijeme, da bi se ovaj konačno zaustavio lebdeći u vodi pri vrhu epruvete. Međutim,

¹ Autor je profesor fizike, e-pošta: roko.pesic@zg.t-com.hr

kada isključimo struju odnosno prekinemo dovod topline ili maknemo stalak s epruvetom od izvora topline, vidjet ćemo da će ronilac nakon nekog vremena potonuti na dno epruvete. Učenike će zanimati koja fizika stoji iza ovog, na prvi pogled neobičnog ponašanja ronioca.

Sustav posuda – epruveta – ronilac može se promatrati kao jednostavni toplinski stroj sa svojim osnovnim dijelovima i ključnim uvjetom funkcioniranja: rezervoarom na višoj temperaturi T_1 , rezervoarom na nižoj temperaturi T_2 i radnim tijelom koje ga pokreće i može obavljati rad.



Slika 2. Shematski prikaz gibanja (naizmjeničnog dizanja i spuštanja) ronioca u epruveti.

Rezervoar topline na višoj temperaturi je u ovom slučaju voda pri dnu epruvete, u početnom stanju zagrijana na temperaturu T_1 , rezervoar topline niže temperature T_2 je voda pri vrhu epruvete. Do gibanja ronilaca dolazi zbog razlike temperatura tih dvaju rezervoara. Koja sila tjera ronioca na gibanje? Za odgovor na to, naizgled složeno pitanje, dovoljno je poznavati osnovne toplinske i hidrostatske zakone.

Radno tijelo našeg “toplinskog stroja” jest zrak unutar ronioca. Slično kao što se zagrijana mješavina zraka i benzinskih para u cilindru automobilskog motora širi i potiskuje klip cilindra, tako se i zrak unutar ronioca zagrijavanjem širi i istiskuje vodu iz ronioca, pa kada njegova gustoća postane manja od gustoće okolne vode u epruveti, ronilac uslijed sile uzgona počinje izranjati. Međutim, kada se ronilac približi vrhu epruvete gdje se nalazi hladnija voda, zrak u ronioncu se hladi i skuplja, uslijed čega voda ulazi u ronilac, čim njegova gustoća dovoljno poraste, sila teža nadvlada uzgon i pod njezinim djelovanjem ronilac počinje tonuti. Ta naizmjenična prevaga sile teže i sile uzgona upravlja gibanjem ronioca. Kao pravi toplinski stroj, taj sustav će funkcionirati sve dok postoji razlika temperatura dvaju rezervoara. Onog trenutka kada se te temperature izjednače, odnosno kada se sva voda u epruveti zagrije na (veću) temperaturu T_1 , zagrijani zrak u ronioncu će istisnuti vodu, gustoća ronioca će biti manja od gustoće okolne vode, te će se ronilac na kraju, uslijed uzgona, zaustaviti pri vrhu epruvete. Međutim, kada isključimo dovod topline, voda u epruveti će se postupno hladiti, zrak u ronioncu će se ohladiti i stisnuti, voda će ući u ronilac i on će konačno potonuti na dno epruvete, jer će sila teža nadvladati uzgon.

Metodičko-didaktički osvrt

a) Opažanje, bilježenje tijeka pokusa i stvaranje pretpostavki

Kao što smo spomenuli, pokus je vrlo pogodan u problemsko-istraživačkoj interaktivnoj nastavi – konkretno, u okviru obrade nastavne jedinice o radu toplinskih strojeva – jer na zoran i jednostavan način ostvaruje vezu između iskustva i apstraktnih fizikalnih koncepata, pojmova i zakona. Učenici promatraju pokus, zapisuju svoja opažanja, pokušavaju odgovoriti zašto se pokus odvija baš na taj način, i tako aktivno sudjeluju u traženju rješenja, postavljaju pitanja, stvaraju pretpostavke, kao npr.:

- u toploj vodi ronilac postaje lakši pa izranja;
- plovak bi morao potonuti jer zagrijana voda ima manju gustoću;
- voda koja se u posudi grije odozdo, struji uvis i tako ronioca “povlači” gore, itd.

Pretpostavlja se da učenici imaju dovoljno predznanja da bi konstruktivno mogli sudjelovati u ovakvoj vrsti nastave. Nijedna učenička ideja ne bi se trebala odbaciti kao nevrjedna rasprave. Važno je poticati učenike da se uključe iznošenjem svojih, makar pogrešnih, pretpostavki te da ih pokušaju obraniti, jer se na taj način, osim što

aktivno sudjeluju u nastavi, uče fizikalno razmišljati, osjećaju se ravnopravnim s ostalim učenicima, razbijaju strah od fizike, i na koncu daju vlastiti doprinos rješenju problema. Nastavnik je tu samo usmjerivač zajedničke rasprave, “primus inter pares” (ne tumači tijek pokusa “ex chatetra”, već nastoji biti samo jedan od sudionika koji promatra i “pokušava” naći rješenje).

b) *Konstruiranje modela rješenja*

Nakon nekoliko minuta zagrijavanja učenici zapažaju kako ronilac lebdi u vodi pri vrhu epruvete. Pitanje koje se nameće jest zašto naš “stroj” ne radi? Rasprava se produžuje. Ako u razredu ima mladih “genijalaca”, a u gotovo svakom razrednom odjeljenju se nađe poneki takav učenik, moguće je da se sjeti i predloži da se u epruvetu stavi kockica leda ili dolije hladne vode. I, gle čuda: “stroj” je opet proradio! Nastavnik nakon toga može zaključiti raspravu tzv. konvergentnim pitanjem: “Uz koji će uvjet ovaj model toplinskog motora stalno raditi?” Sada učenicima nije problem zaključiti da je uvjet rada ovog stroja – stalna i dovoljno velika temperaturna razlika.

c) *Povezivanje pokusa s teorijom*

Učenicima će sada, na zoran način, biti jasnije gradivo (toplinski zakoni, zakon uzgona i dr.) koje su prije izvođenja ovog pokusa već morali (prema nastavnom planu i programu) obraditi. Tako će se prisjetiti da je rad W toplinskog stroja jednak razlici topline Q_1 koju radno tijelo (u ovom slučaju to je stupac zraka u ronioncu) prima od toplijeg spremnika (vode pri dnu epruvete odnosno izvora topline) i topline Q_2 , koju to isto radno tijelo predaje hladnijem spremniku (vodi i zraku pri vrhu epruvete) $W = Q_1 - Q_2$.

Toplina Q_1 proporcionalna je temperaturi T_1 vode pri dnu epruvete koja brzo dostigne točku vrenja vode ($T_1 = 100^\circ\text{C}$) i nakon toga se više ne mijenja s vremenom dok je toplina Q_2 proporcionalna temperaturi T_2 vode pri vrhu epruvete koja postupno (ali sporije od T_1) raste konvekcijskim prijenosom topline kroz vodu od sobne temperature do izjednačenja s temperaturom T_1 , pa je tada $Q_1 = Q_2$, a izvršeni rad $W = Q_1 - Q_2 = 0$ (kada se ronilac prestane gibati).

Mjerenjem temperatura T_1 i T_2 može se izračunati *maksimalna korisnost* η_{\max} ovoga toplinskog “stroja”, prema učenicima poznatom izrazu:

$$\eta_{\max} = \frac{W}{Q} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

Zaključak

Na ovome jednostavnom, ali poučnom primjeru možemo uočiti prednosti koje problemski i istraživački usmjerena nastava fizike ima pred tradicionalnom predavačkom nastavom, a to su: aktivno sudjelovanje učenika u nastavi, postupno nalaženje rješenja problemske situacije, opuštenije ozračje u razredu, poticanje zanimanja za fiziku i kod lošijih učenika, i konačno, povezivanje fizikalnih formula i zakona iz udžbenika sa stvarnošću i učeničkim iskustvom.

Literatura

- [1] Ž. JAKOPOVIĆ I P. KULIŠIĆ, *Fizika 1, udžbenik za 1. i 2. razred strukovnih škola*, Školska knjiga, Zagreb, 1999.
- [2] R. KRSNIK, *Fizika 2, udžbenik za 2. razred gimnazije*, Školska knjiga, Zagreb, 1997.
- [3] R. KRSNIK, *Fizika 2 – metodički priručnik za nastavnike*, Školska knjiga, Zagreb, 2003.
- [4] V. PAAR I V. ŠIPS, *Fizika 2, udžbenik za 2. razred gimnazije*, Školska knjiga, Zagreb, 1997.
- [5] G. ŠINDLER, *Nastava fizike – osloboditi zapretene čarolije, članak o problemsko-istraživačkoj nastavi fizike*, Školske novine, 44(1996)36.