Kartezijanski ronilac – čarolija ili fizika?

Siniša Režek[1]

Jeste li se ikad zapitali kako podmornice mogu zaroniti duboko ispod površine mora, a zatim se ponovo vratiti na površinu? Na prvi pogled izgleda kao da prkose zakonima prirode. Međutim, iza toga stoje jednostavni fizikalni principi koje možemo istražiti pomoću zanimljivog pokusa zvanog kartezijanski ronilac.

Zamislite malog "ronioca" koji pluta u boci vode. Na vaš dodir on iznenada potone prema dnu, a čim ga pustite, ponovo se vrati na površinu. Izgleda kao da sluša vaše naredbe. No zapravo se radi o djelovanju tlaka, promjeni volumena zraka i Arhimedovom zakonu.



Ovdje ćemo istražiti kako tlak može promijeniti gustoću tijela te zašto neka tijela plutaju, a druga tonu. Kroz nekoliko zadataka primijenit ćemo stečeno znanje i otkriti fiziku koja se krije iza ovog neobičnog "plesa" ronioca.

Kartezijanski ronilac ili kartezijanski vrag koji pleše je klasični znanstveni eksperiment koji demonstrira princip Arhimedovog zakona i tlak plinova. Prvi pisani opis ovog uređaja dao je Raffaello Magiotti u svojoj knjizi *Renitenza certissima dell'acqua alla compressione* objavljenoj 1648. godine.



Pokus se sastoji od zatvorene boce napunjene vodom u kojoj se nalazi manja posudica (ronilac) ispunjena dijelom zrakom, a dijelom vodom. Pritisak na stijenke boce tjera ronioca da tone, a otpuštanje pritiska ga vraća na površinu.

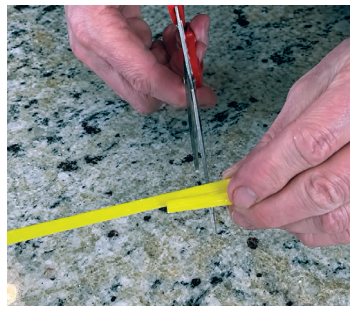
Kako funkcionira? Kada pritisnete stijenke boce, povećavate tlak unutar tekućine, što komprimira zrak unutar ronioca. Zbog toga se volumen zraka smanjuje, a u ronioca ulazi više vode. Kako se volumen smanjuje, a masa ostaje ista, ukupna gustoća ronioca postaje veća od gustoće vode i on tone. Kada otpustite bocu, zrak se širi, istiskuje vodu iz ronioca, njegova gustoća pada ispod gustoće vode i on isplivava.



Kako izraditi Kartezijevog ronioca i potreban pribor? Ovaj zabavni eksperiment možete lako izvesti kod kuće. Sve što vam treba su savitljive slamke i spajalice, uz bocu vode. I to je sve!

[1] Autor je prof. savjetnik u Osnovnoj školi Žitnjak u Zagrebu; e-pošta: srezek@gmail.com

Upute za izradu su jednostavne. Savijte kraj slamke, a zatim je škarama odrežite na proizvoljnoj duljini. Osjetljivost na stiskanje ovisit će o tome koliko dugačak dio slamke ostavite. Onda, uzmite spajalicu i postavite je kako bi držala slamku na mjestu. Dodajte još nekoliko spajalica kako biste povećali masu. Zatim sve stavite u bocu, koju čvrsto zatvorite čepom. Stisnite bocu i promatrajte kako ronilac tone.



⋆ ⋆ ⋆

Evo nekoliko zadataka prilagođenih vama. Nemojte očajavati ako zapnete nego se koncentrirajte i nastavite razmišljati. U nekim slučajevima su bitni sitni detalji, dok u drugima morate pokazati maštovitost. Dakle, počnimo!

Zadatak 1. *Hoće li ronilac plutati ili potonuti?* Ako je poznato da kartezijanski ronilac ima masu 12 g i volumen 15 cm^3, hoće li plutati ili tonuti u vodi?

Rješenje.

$m = 12\ \mathrm{g}$

$V = 15\ \mathrm{cm}^3$

$\rho = ?$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{12\ \mathrm{g}}{15\ \mathrm{cm}^3} = 0.7\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}.$$

Kako je gustoća vode $\rho = 1\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}$, a $0.8 < 1$, zaključujemo da je gustoća ronioca manja od gustoće vode.

Zadatak 2. *Što se događa pri stiskanju boce?* Ronilac u početku ima volumen 12 cm^3 i masu 11 g. Nakon stiskanja boce u njega uđe voda pa mu masa postane 13 g, dok volumen ostane 12 cm^3. Kolika je sada gustoća i što će se dogoditi?

Rješenje.

$m = 13\ \mathrm{g}$

$V = 12\ \mathrm{cm}^3$

$\rho = ?$

$$\rho = \frac{13\ \mathrm{g}}{12\ \mathrm{cm}^3} = 1.08\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}.$$

Kako je gustoća vode $\rho = 1\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}$, a budući je $1.08 > 1$, gustoća ronioca veća je od gustoće vode.

Zadatak 3. *Arhimedov zakon.* Na ronioca djeluje sila uzgona, pa on istiskuje 20 cm^3 vode. Kolika je masa istisnute vode?

Rješenje.

$V = 20\ \text{cm}^3$

$\rho = 1\ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

$m = ?$

$m = \rho V = 20\ \text{g}.$

Zadatak 4. *Izazov.* Ako ronilac ima masu 14 g, koliki volumen mora imati da bi njegova gustoća bila jednaka gustoći vode?

Rješenje.

$m = 14\ \text{g}$

$\rho = 1\ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

$V = ?$

Za plutanje na granici vrijedi:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{14\ \text{g}}{1\ \text{g/cm}^3} = 14\ \text{cm}^3.$$

Zadatak 5. Razmislite i objasnite zašto se zrak u roniocu smanjuje kada stisnemo bocu?

⋆ ⋆ ⋆

Nakon što riješite zadatak, provjerite ga na kraju. Ako ste točno odgovorili, prijeđite na sljedeći. Ukoliko zadatak ne možete riješiti, razmislite ili potražite pomoć prvo kod prijatelja, a tek onda kod učitelja. Ova rješenja sadrže također i kratke upute te bi vam to trebalo biti dovoljno da riješite zadatak. Nemojte prerano koristiti rješenja! Tek ako ga i nakon nekoliko uzastopnih pokušaja niste uspjeli riješiti, pročitajte potpuno rješenje. Ono je zapisano riječima, ali i matematičkim znakovima, tako da ga zorno možete vidjeti.

1. Ronilac će plutati.
2. Ronilac će potonuti.
3. Istisnuta voda ima masu 20 g.
4. Volumen mora biti 14 cm^3.
5. Stiskanjem boce povećava se tlak u vodi. Taj povećani tlak djeluje i na zrak unutar ronioca. Zrak se može stisnuti (komprimirati), pa mu se volumen smanjuje. Zato u ronioca ulazi više vode i njegova gustoća se povećava.

Zaključak

Kartezijanski ronilac pokazuje da promjenom tlaka možemo promijeniti volumen zraka, gustoću tijela i odnos između težine i sile uzgona. Upravo se na tim principima temelji rad podmornica, a pokus na jednostavan i zanimljiv način povezuje pojmove: tlak, gustoća, uzgon, Arhimedov zakon.