



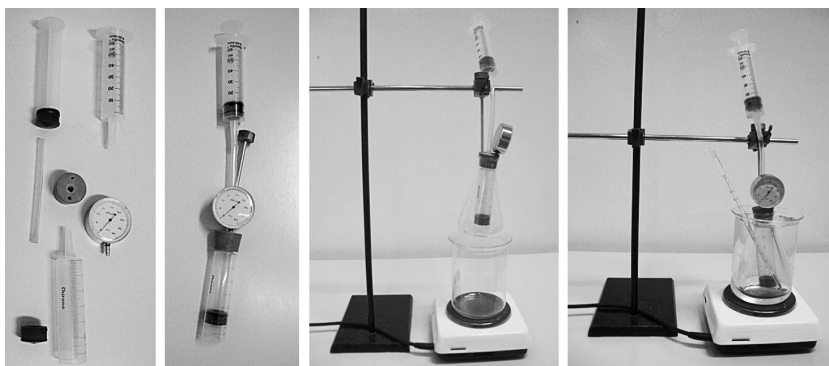
## IZ MOJE RADIONICE I LABORATORIJA

### Određivanje toplinskog koeficijenta širenja plina i provjeravanje jednadžbe stanja plina

Jakov Labor<sup>1</sup>

#### Određivanje toplinskog koeficijenta širenja plina

Zagrijavamo li plin, opažamo da mu se povećavaju tlak i obujam. Želimo li pokusom istražiti na koji način obujam plina ovisi o temperaturi, tlak plina moramo održavati stalnim. Uređaj za izvođenje pokusa složimo prema slikama 1a-1d. Na slici 1a prikazan je dio pribora. Tu su dvije medicinske sisaljke od 60 ml ( $\text{cm}^3$ ), njihovi klipovi, gumeni čep, plastična cjevčica i manometar. U sisaljka koje možemo naći u ljekarni klipovi se sastoje od gumenog i plastičnog dijela. Sisaljku zatvara samo gumeni dio, dok plastični služi za pomicanje gumenog dijela. Gumeni se dio može odvojiti od plastičnoga. Manometar možemo skinuti s klasičnog tlakomjera.



Slika 1 a), b), c), d).

Donju sisaljku odrežemo 2–3 mm ispod oznake 60 ml i u nju stavimo samo gumeni dio klipa namjestivši ga na oznaku 60 ml. Klip u gornjoj sisaljki uguramo do dna sisaljke. Uski dio donje sisaljke provučemo kroz središnji provrt na gumenom čepu i na njega natakne plastičnu cjevčicu (slika 1b). Provrt mora biti takav da čep steže provučeni dio sisaljke i onemogućuje propuštanje zraka. Drugi kraj plastične cjevčice natakne na uski dio gornje sisaljke. Takav nam spoj sisaljki omogućuje da pomicanjem klipa u gornjoj pomicemo klip i u donjoj sisaljki. Na čepu je još jedan provrt, a nasuprot njemu zabušenje koje ne probada čep do kraja. U provrt usadimo manometar, a u zabušenje metalnu šipku debljine oko 5 mm.

<sup>1</sup> Autor je profesor savjetnik u Gimnaziji Antuna Vrančića u Šibeniku.

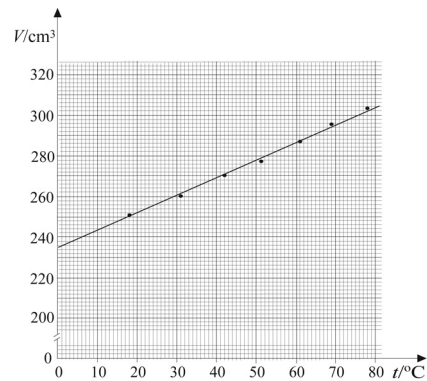
Donju sisaljku uvučemo u tikvicu od 300 ml i dobro je začepimo. Šipku koju smo uvukli u čep učvrstimo za horizontalni nosač na stalku (slika 1c), a zatim je spustimo u laboratorijsku čašu od 1000 ml koja se nalazi na kuhalu (slika 1d). U čašu ulijemo vodu najmanje do donjeg dijela čepa, kako bi sav zrak u tikvici bio okružen vodom.

Plin koji istražujemo je zrak u tikvici, a zagrijavamo ga zagrijavajući vodu u čaši. Temperaturu vode, a time i zraka, mjerimo termometrom kojim i miješamo vodu u čaši.

Prije zagrijavanja pogledamo koliki tlak pokazuje manometar. Kada se nakon uključenja kuhala temperatura vode poveća za 1.5–2 stupnja, isključimo kuhalo i miješajući vodu čekamo da se temperatura prestane povećavati. Zagrijavanjem zraka u tikvici povećava se njegov tlak. Obujam se ne povećava zbog trenja između klipova i stijenki sisaljki. Izvlačenjem klipa na gornjoj sisaljki tlak smanjimo do početne vrijednosti i na mjernoj ljestvici donje sisaljke očitamo povećanje obujma ( $\Delta V$ ). Povećanje obujma i pripadajuću temperaturu ( $t$ ) zapišemo u tablicu. Zagrijavanje, mjerenje temperature i povećanja obujma nastavljamo na opisani način. U Tablici 1 su podaci dobiveni u jednom pokusu. S  $V_p$  smo obilježili početni obujam. Možemo ga odrediti tako da nakon zadnjeg mjerenja u tikvicu ulijemo vodu i pomoću menzure joj izmjerimo obujam. Obujam zraka pri svakoj od izmjerenih temperatura obilježili smo s  $V$ , a dobijemo ga tako da početnom obujmu dodamo povećanje obujma.

$t/^\circ\text{C}$	18	31	42	51	61	69	78
$V_p/\text{cm}^3$	251						
$\Delta V/\text{cm}^3$	0	9	19	26	36	45	52
$V/\text{cm}^3$	251	260	270	277	287	296	303
$V_0/\text{cm}^3$	235						
$\alpha/\text{K}^{-1}$	$3.62 \cdot 10^{-3}$						
$r/\%$	1.09						

Tablica 1.



Slika 2.

Prema podacima iz tablice nacrtamo graf ovisnosti obujma plina o temperaturi (slika 2). Graf je oblika pravca, što znači da je obujam plina razmjeran temperaturi (Gay-Lussacov zakon). Jednadžba je toga pravca

$$V = V_0 (1 + \alpha t),$$

gdje je  $V_0$  obujam plina pri temperaturi  $0^\circ\text{C}$ , a  $V$  pri temperaturi  $t$ , dok je  $\alpha$  toplinski koeficijent širenja plina. Iz grafa možemo očitati iznos obujma plina pri  $0^\circ\text{C}$  i pri nekoj drugoj temperaturi te pomoću navedene jednadžbe odrediti toplinski koeficijent širenja zraka. Iz priloženog se grafa vidi da obujam zraka pri  $0^\circ\text{C}$  iznosi  $235\text{ cm}^3$ , a pri temperaturi  $80^\circ\text{C}$   $305\text{ cm}^3$ . Toplinski koeficijent širenja zraka izračunat iz tih podataka iznosi  $3.62 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}$ . Teorijski iznos toga koeficijenta za idealni plin je  $1/(273.16\text{ K}) = 3.66 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}$ . Za koliko se postotaka naš rezultat razlikuje od ovoga iznosa (relativna pogreška,  $r$ ), možemo izračunati pomoću izraza

$$r = \left| \frac{\alpha - 3.66 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}}{3.66 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}} \right| \cdot 100\% = 1.09\%.$$

## Provjeravanje jednadžbe stanja plina

Pomoću molekularno-kinetičke teorije plinova izvodi se jednadžba stanja idealnog plina

$$\frac{pV}{T} = nR,$$

gdje je  $p$  tlak,  $V$  obujam i  $T$  temperatura plina, a  $n$  broj mola i  $R$  opća plinska konstanta. Prema toj je jednadžbi vrijednost izraza  $pV/T$  za određenu količinu plina stalna, bez obzira na promjene tlaka, obujma i temperature. To možemo provjeriti uređajem kojim smo izvodili prethodni pokus.

Postavimo klipove u sisaljka u najniži položaj, tako da je obujam zraka najmanji. Tlak zraka u tikvici jednak je zbroju atmosferskog tlaka ( $p_a$ ) i tlaka što ga pokazuje manometar ( $p_m$ ). Atmosferski tlak odredimo pomoću barometra. Ako je barometar živin, atmosferski je tlak

$$p_a = \rho gh,$$

gdje je  $\rho (= 13\,600 \text{ kgm}^{-3})$  gustoća žive, a  $h$  visina njezina stupca u barometru.

Zagrijavanjem zraka možemo mijenjati njegovu temperaturu, a pomicanjem klipa obujam i tlak. Obujam ( $V$ ) pri svakoj temperaturi dobijemo tako da početnom obujmu ( $V_p$ ) dodamo promjenu obujma ( $\Delta V$ ). Kao i u prethodnom pokusu, pri zagrijavanju povremeno isključujemo kuhalo i čekamo da se temperatura ustali. Izmjerene i izračunate veličine unesemo u tablicu.

$h(\text{m})$	0.763				
$p_a / \text{Pa}$	101 796				
$p_m / \text{Pa}$	4 500	11 000	15 500	13 500	10 500
$p / \text{Pa}$	106 296	112 796	117 296	115 296	112 296
$t / ^\circ\text{C}$	28	55	75	87	96
$T / \text{K}$	301	328	348	360	369
$V_p / \text{cm}^3$	251				
$\Delta V / \text{cm}^3$	0	5	10	24	40
$V / \text{cm}^3$	251	256	261	275	291
$pV/T / \text{Pa cm}^3 \text{K}^{-1}$	88 639	88 036	87 972	88 073	88 559
$\overline{pV/T} / \text{Pa cm}^3 \text{K}^{-1}$	88 256				
$\Delta(pV/T) / \text{Pa cm}^3 \text{K}^{-1}$	383	-220	-284	-183	303
$\Delta(pV/T)_m / \text{Pa cm}^3 \text{K}^{-1}$	383				
$r_m / \%$	0.43				

Tablica 2.

U Tablici 2 smo s  $\overline{pV/T}$  obilježili srednju vrijednost izraza  $pV/T$ , a s  $\Delta(pV/T)$  razliku između pojedinih rezultata i srednje vrijednosti. Apsolutnu vrijednost najveće razlike (maksimalnu apsolutnu pogrešku) obilježili smo s  $\Delta(pV/T)_m$ , dok je

$$r_m = \frac{\Delta(pV/T)_m}{\overline{pV/T}} \cdot 100\%$$

maksimalna relativna pogreška.