

## FP2–V3. Određivanje gustoće tekućina

### Ključni pojmovi

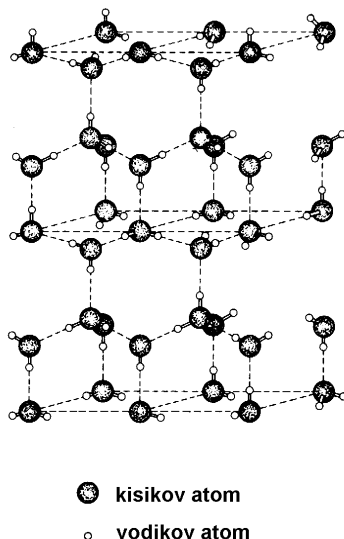
Gustoća, uzgon, težina, Mohr-Westphalova vaga, anomalija vode

### I. TEORIJSKI UVOD

Sile među molekulama u tekućini drastično se smanjuju s povećavanjem njihove udaljenosti. Gustoća tekućina općenito se smanjuje s porastom temperature ako ne postoje drugi procesi koji bi zasjenili to pravilo. Koeficijent ekspanzije  $\alpha$  pri nekoj temperaturi jest relativna promjena volumena tekućine s temperaturom, ne uzimajući u obzir isparavanje:

$$\alpha = \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial T} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial T} \quad (1)$$

Posljednja relacija dobije se deriviranjem  $V = m/\rho$  gdje je masa  $m$  konstantna. Za većinu tekućina koeficijent ekspanzije malo se mijenja u području između tališta i vrelišta.

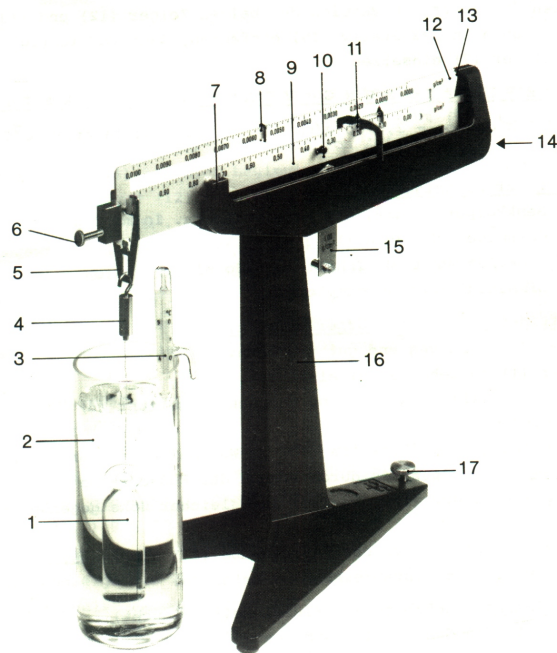


Slika 1: Kristalna struktura leda.

Međutim, u slučaju vode to pravilo ne vrijedi. Struktura vode određena je vodikovim vezama među molekulama. U ledu je svaki atom kisika okružen četirima vodikovim atomima (Slika 1). Dva vodikova atoma su iz "vlastite" molekule, vezana kovalentnom vezom i udaljena 0,1 nm, dok su preostala dva atoma iz susjednih molekula vezana vodikovom vezom te su udaljena 0,17 nm. Tako se tvori tetrahedralna kristalna struktura. **Ta struktura nije najgušće moguće pakiranje molekula vode.** S porastom temperature dolazi do taljenja leda i slabljenja vodikovih veza. Smanjuje se doseg uređenja, a molekule vode nastoje se što više međusobno približiti. Tako dolazi do porasta gustoće koja je maksimalna pri temperaturi od 4 °C. Iznad te temperature dolazi do termičke ekspanzije, koja raste s porastom temperature.

### II. MJERNI UREĐAJ I MJERENJE

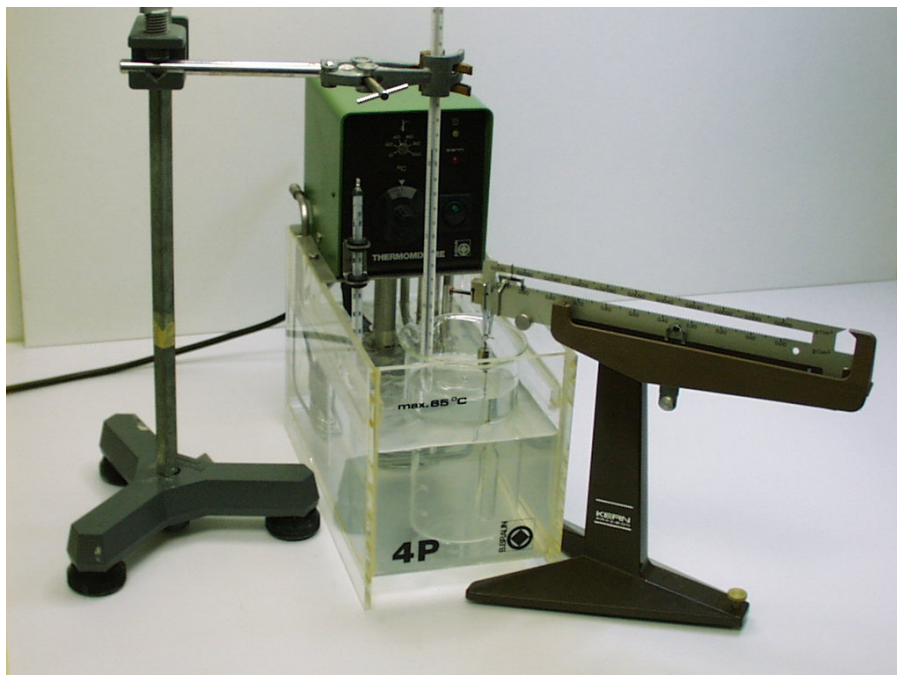
U ovoj vježbi gustoća vode mjeri se metodom uzgona, koristeći se Mohr-Westphalovom vagom (Slika 2). Na lijevi krak vage o nosač (5) je pomoću tanke žice obješen ronilac (1). Dva utega (jahača) (8) i (11), postavljena u krajnje položaje na desnoj strani, kompenziraju težinu ronioca tako da vaga pokazuje ravnotežu (šiljci (12) i (13) stoje jedan nasuprot drugomu). Ako ravnoteža nije postignuta, potrebno je vijkom (17) i/ili (6) uravnotežiti vagu. Jednom kad je ravnoteža uspostavljena, te vijke više ne dirati tijekom mjernja! Prilikom uravnoteživanja vage, potrebno je da ronilac i žica budu potpuno suhi.



Slika 2: Mohr-Westphalova vaga.

Uronimo li ronioca potpuno u tekućinu temperature  $T$  koja se nalazi u čaši (2), uzgon koji djeluje na ronioca uzrokuje da vaga više nije u položaju ravnoteže. Pomicanjem jahača možemo vagu ponovno dovesti u ravnotežni položaj, a položaji jahača daju nam traženu vrijednost gustoće mjerene tekućine. Poluga vage baždarena je tako da moment sile od težine jahača odgovara onome sile uzgona. Uočite da je ovom vagom moguće određivati gustoće tekućina na točnost od 4 decimale. Skala gustoće valjana je za točno određen volumen ronioca. Oprez! Pri pomicanju jahača obavezno pridržavati šiljke kako se vaga ne bi oštetila!

Kako bi se mogla regulirati temperatura mjerene tekućine (u našem slučaju destilirane vode), čaša (2) se uranja u vodenu kupku. U istu je kupku uronjena spirala koja u sebi sadržava električni grijač (otpornu žicu). Termostat mjeri temperaturu vode i prema potrebi uključuje struju grijača kako bi se održavala željena temperatura. Termostat sadržava i elektromotor koji okreće osovinu na kojoj se nalazi rotor vodene crpke. Promatranjem oznaka na poleđini termostata i rasporeda cijevi, može se zaključiti kojim smjerom teče voda koju pokreće vodena crpka. Strujanje vode omogućuje brzu uspostavu termodinamičke ravnoteže.



Slika 3: Mjerni postav.

Mjerenje počinjemo hlađenjem vode u čaši do temperature bliske ledištu. Čašu s destiliranom vodom izvadimo iz kupke i u nju dodamo led iz hladnjaka (koji je spravljen od destilirane vode). Kad se smjesa dovoljno ohladi, čašu uronimo u kupku i počinjemo mjerenje. Pazite da vaga bude uravnotežena prije prvog uranjanja u čašu. Mjerenje od ledišta do sobne temperature obavljamo bez uključivanja grijača. U početku se temperatura brzo mijenja pa je potrebno često očitavanje gustoće. Kad se temperatura približi sobnoj, promjene će biti spore pa se može nakratko uključivati grijač. Za temperature iznad sobne željena temperatura može se namjestiti termostatom i tako održavati konstantnom. Temperatura mjerene tekućine određuje se osjetljivim termometrom uronjenim u čašu. Budući da se koeficijent ekspanzije određuje iz nagiba krivulje na željenoj temperaturi, potrebno je izmjeriti gušće točke oko 20 °C i 40 °C kako bi se mogao provesti račun linearne regresije i nagib pravca poistovjetiti s nagibom tangente.

### Zadaci

1. Izmjerite gustoću vode u temperaturnom intervalu od 0 °C do 48 °C. Razmak temperatura na kojima se mjeri ne treba biti veći od 2–3 °C, a oko 20 °C i 40 °C i gušće.
2. Metodom najmanjih kvadrata odredite koeficijent ekspanzije destilirane vode pri temperaturama 20 °C i 40 °C. Da ne bismo morali uvoditi dodatne pretpostavke o vrijednosti  $\rho$  koja stoji pred derivacijom iz jednadžbe (1), primijetite da se isti izraz može zapisati kao:

$$\alpha = -\frac{\partial \ln \rho}{\partial T} \quad (2)$$

Na kako transformirane točke ćete stoga primijeniti metodu najmanjih kvadrata (kao i uvijek, u općenitom obliku  $y = ax + b$ ) da biste odredili  $\alpha$ ?