

1 Plinski zakoni

Vježbe iz Dinamičke meteorologije 1

Molarna masa, M

- Masa jednog mola tvari.
- Numerički je jednaka molekularnoj (ili atomskoj) masi M .

Primjer a) 1 mol molekularnog vodika sadrži ukupno $6.022 \cdot 10^{23}$ molekula H_2 (Avogadrov broj), te ima masu 2 g. Slijedi da je molarna masa $M = 2 \text{ g mol}^{-1}$.

Primjer b) 1 kmol molekularnog kisika O_2 ima $6.022 \cdot 10^{26}$ molekula O_2 i masu 32 kg. Slijedi da je molarna masa $M = 32 \text{ kg kmol}^{-1}$.

Avogardrov broj, N_A

- Broj molekula (u slučaju kemijskog spoja) ili atoma (u slučaju kemijskih elemenata) koji se nalazi u jednom molu (kilomolu) tvari:

$$N_A = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 6.022 \cdot 10^{26} \text{ kmol}^{-1}$$

Množina ili količina tvari, n

- Veličina jednaka omjeru broja elementarnih jedinki (atoma, iona, molekula, elektrona) N i Avogadrovog broja N_A :

$$n = \frac{N}{N_A}$$

Molekularna masa tvari, M

- Masa jednog mola tvari, tj. masa $6.022 \cdot 10^{23}$ elementarnih jedinki tvari:

$$M = \frac{m}{n}$$

Standardni uvjeti

- Uvjeti pri kojima je tlak jednak $p = 101\,325\text{ Pa} = 1013.25\text{ hPa}$, a temperatura $T = 273.15\text{ K}$.

Molarni volumen, V_m

- Volumen jednog mola plina.
- Pri standardnim uvjetima volumen jednog mola (kilomola) plina, bez obzira koji plin promatramo, mora biti jednak:

$$V_m = 22.414 \text{ l kmol}^{-1} = 22.414 \text{ m}^3 \text{ kmol}^{-1}$$

$$V_m = 0.022414 \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}.$$

Maseni udio, w

- Maseni udio komponente A je omjer mase otopljene tvari A i zbroja masa svih tvari u otopini ili smjesi:

$$w_A = \frac{m_A}{\sum_i m_i}$$

Idealni plin

- Plin male gustoće u kojem je sudaranje atoma ili molekula potpuno elastično, a prosječna udaljenost susjednih molekula ili atoma puno je veća od međučestičnih sila. Stoga potencijalna energija bitno ne utječe na ponašanje idealnog plina, tj. sva je unutarnja energija idealnog plina u formi kinetičke energije.
- Atmosfera je smjesa plinova i atmosferski su plinovi realni plinovi, te njihovo ponašanje odstupa od ponašanja idealnog plina. Međutim, to je odstupanje vrlo malo, pa najčešće pretpostavljamo da se atmosfera ponaša kao idealni plin.
- Što je tlak realnog plina manji, to je njegovo ponašanje sličnije ponašanju teorijskog, idealnog plina.

Čest zraka (fluida)

- Pod pojmom česti podrazumijevamo masu fluida čija su termodinamička svojstva jednolika, a tijekom promatranog procesa u česti se nalazi uvijek ista tvar (materijalna čest ili materijalni element fluida).
- Čest je osnovni termodinamički sustav čiju promjenu stanja promatramo pri proučavanju atmosferskih procesa.
- Do promjene stanja, tj. promjene vrijednosti termodinamičkih varijabli dolazi uslijed različitih fizikalnih procesa.

Termodinamičke varijable (varijable stanja)

Varijable koje potpuno opisuju stanje promatranog termodinamičkog sustava.

Varijable stanja česti fluida mase m su:

- tlak (p)
- temperatura (T)
- volumen (V)
- gustoća $\rho = \frac{m}{V}$ [kg m^{-3}]
- specifični volumen $\alpha = \frac{1}{\rho} = \frac{V}{m}$ [$\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$]

Termodinamičke varijable (varijable stanja)

- Pri standardnim uvjetima ($p = 1013.25 \text{ hPa}$ i $T = 273.15 \text{ K}$) gustoća i specifični volumen zraka su jednaki:

$$\rho = 1.293 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\alpha = 0.774 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$$

Boyleov zakon

- Tlak plina (p) konstantne mase (m) i konstantne temperature (T) je obrnuto proporcionalan volumenu plina (V)

$$pV = k_1$$

(uz $m = \text{konst.}$ i $T = \text{konst.} \rightarrow \text{izotermno stanje}$)

gdje je k_1 konstanta proporcionalnosti.

Općenito, $k_1 = k_1(T)$.

Charlesov zakon ili Gay–Lussacov zakon

- Volumen (V) promatrane mase plina (m) pri konstantnom tlaku (p) proporcionalan je temperaturi plina (T).

$$V = k_2 T$$

(uz $m = \text{konst.}$ i $p = \text{konst.} \rightarrow \text{izobarno stanje}$)

gdje je k_2 konstanta proporcionalnosti.

Općenito, $k_2 = k_2(p)$.

Jednadžba stanja idealnog plina

- Kombinacijom Boyleovog i Charlesovog zakon dolazimo do još jednog zakona za plin:

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

gdje je k konstanta proporcionalnosti.

- U standardnim uvjetima ($p = 1013.25 \text{ hPa}$, $T = 273.15 \text{ K}$, $V_m = 22.414 \text{ m}^3 \text{ kmol}^{-1}$) konstantu proporcionalnosti zovemo univerzalna plinska konstanta R^* :

$$\frac{pV_m}{T} = R^*,$$

$$R^* = \frac{101325 \text{ Pa} \cdot 0.022414 \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}}{273.15 \text{ K}} = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}.$$

Jednadžba stanja za jediničnu masu idealnog plina

$$pV = nR^*T,$$

gdje je n broj kilomola plina koji se nalazi u masi plina m , koja zauzima volumen $V \rightarrow$ Clapeyronova relacija (Emil Clapeyron, 1834.)

$$pV = nR^*T = \frac{m}{M}R^*T \rightarrow p \frac{V}{m} = \frac{R^*}{M}T \rightarrow p\alpha = RT$$

Daltonov zakon

- Tlak kojim tlači smjesa plinova jednak je sumi parcijalnih tlakova svih plinova u smjesi,

$$p = \sum_{k=1}^n p_k ,$$

gdje je p tlak smjese, p_k tlak k -te komponente smjese (parcijalni tlak).

$$p \propto \frac{R^* T}{\bar{M}} ,$$

gdje je $\bar{M} = \frac{\sum_{k=1}^n m_k}{\sum_{k=1}^n \frac{m_k}{M_k}}$ prividna molekularna masa smjese.

Primjeri i zadatci

1. Izračunajte specifičnu plinsku konstantu za suhi zrak, te odredite prividnu molekularnu masu zraka ako je poznat sastav zraka. Odredite gustoću zraka pri standardnim uvjetima ($p = 1013.25 \text{ hPa}$, $T = 273.15 \text{ K}$ i $V_m = 22.414 \text{ m}^3 \text{ kmol}^{-1}$). Univerzalna plinska konstanta je $R^* = 8314 \text{ J kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

PLIN	UDIO MASE [%]	MOLEKULARNA MASA [$10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}$]
N ₂	75.52	28.02
O ₂	23.15	32.00
Ar	1.28	39.44
CO ₂	0.05	44.00

2. Uzorak zraka mase 50 g nalazi se pri tlaku od 1000 hPa i temperaturi 180 K. Uzorku se izobarno dodaje toplina sve dok mu volumen ne ekspandira za 21%. Kolika je temperatura zraka nakon ekspanzije?

3. Uzorku zraka mase 50 g koji se nalazi pri tlaku od 1000 hPa i temperaturi 180 K izobarno se dodaje toplina dok ne postigne temperaturu od 198 K. Kolika je promjena volumena plina? Rezultat izrazite u postotcima.

4. Koliko se molekula nalazi u kubičnom centimetru zraka pri standardnim uvjetima?

5. Izračunajte prividnu molekularnu masu atmosfere Venere ako se njezin volumen sastoji od 95% ugljičnog dioksida i 5% molekularnog dušika. Koliko iznosi specifična plinska konstanta takve atmosfere?

PLIN	UDIO MASE [%]	MOLEKULARNA MASA [$10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}$]
CO ₂	95	44
N ₂	5	28.02

6. Izračunajte kolika je gustoća Venerine atmosfere ako pripadna molekularna masa iznosi $42.78 \text{ kg kmol}^{-1}$, prosječna temperatura na površini 464°C , a atmosferski tlak na površini Venere iznosi 9321.9 kPa .

7. Pokažite da se jednačba stanja idealnog plina izvedena za jediničnu masu $p\alpha = RT$ može za proizvoljnu masu plina m pisati u obliku $pV = nR^*T$.

8. Polazeći od Clapeyronovog oblika jednačbe stanja idealnog plina $pV = nR^*T$ pokažite da se ista jednačba može pisati u obliku $pV = NkT$, gdje je N broj molekula ili atoma u volumenu plina V , a k je Boltzmannova konstanta.

9. Iz radiosondažnih podataka za tlak zraka p , te temperaturu T odredite promjenu gustoće atmosfere s visinom. Prividna molekularna masa atmosfere iznosi $28.967 \cdot 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}$. Grafički prikažite vertikalne profile temperature, tlaka i gustoće atmosfere. Radiosondažni podaci za tlak, temperaturu i druge meteorološke veličine dostupni su na poveznici: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

Rješenja zadataka

1. Izračunajte specifičnu plinsku konstantu za suhi zrak, te odredite prividnu molekularnu masu zraka ako je poznat sastav zraka. Odredite gustoću zraka pri standardnim uvjetima ($p = 1013.25 \text{ hPa}$, $T = 273.15 \text{ K}$ i $V_m = 22.414 \text{ m}^3 \text{ kmol}^{-1}$). Univerzalna plinska konstanta je $R^* = 8314 \text{ J kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

PLIN	UDIO MASE [%]	MOLEKULARNA MASA [$10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}$]
N ₂	75.52	28.02
O ₂	23.15	32.00
Ar	1.28	39.44
CO ₂	0.05	44.00

Rješenje:

Prividna molekularna masa

$$\bar{M} = \frac{\sum_{k=1}^n m_k}{\sum_{k=1}^n \frac{m_k}{M_k}}$$

Masu pojedine komponente smjese dobivamo preko masenog udjela te komponente, a m_z je masa zraka

$$m(\text{N}_2) = \frac{75.52}{100} \cdot m_z$$

$$m(\text{O}_2) = \frac{23.15}{100} \cdot m_z$$

$$m(\text{Ar}) = \frac{1.28}{100} \cdot m_z$$

$$m(\text{CO}_2) = \frac{0.05}{100} \cdot m_z$$

1. Izračunajte specifičnu plinsku konstantu za suhi zrak, te odredite prividnu molekularnu masu zraka ako je poznat sastav zraka. Odredite gustoću zraka pri standardnim uvjetima ($p = 1013.25 \text{ hPa}$, $T = 273.15 \text{ K}$ i $V_m = 22.414 \text{ m}^3 \text{ kmol}^{-1}$). Univerzalna plinska konstanta je $R^* = 8314 \text{ J kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

PLIN	UDIO MASE [%]	MOLEKULARNA MASA [$10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}$]
N ₂	75.52	28.02
O ₂	23.15	32.00
Ar	1.28	39.44
CO ₂	0.05	44.00

$$\sum_k m_k = m_z$$

$$\bar{M} = \frac{m_z}{\frac{\frac{75.52}{100} \cdot m_z}{28.02 \cdot 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}} + \frac{\frac{23.15}{100} \cdot m_z}{32 \cdot 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}} + \frac{\frac{1.28}{100} \cdot m_z}{39.44 \cdot 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}} + \frac{\frac{0.05}{100} \cdot m_z}{44 \cdot 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}}}$$

$$\bar{M} = 28.967 \cdot 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}$$

Specifična plinska konstanta:

$$R = \frac{R^*}{\bar{M}} = \frac{8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}}{28.967 \cdot 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}} = 287.02 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}.$$

1. Izračunajte specifičnu plinsku konstantu za suhi zrak, te odredite prividnu molekularnu masu zraka ako je poznat sastav zraka. Odredite gustoću zraka pri standardnim uvjetima ($p = 1013.25 \text{ hPa}$, $T = 273.15 \text{ K}$ i $V_m = 22.414 \text{ m}^3 \text{ kmol}^{-1}$). Univerzalna plinska konstanta je $R^* = 8314 \text{ J kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

PLIN	UDIO MASE [%]	MOLEKULARNA MASA [$10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}$]
N ₂	75.52	28.02
O ₂	23.15	32.00
Ar	1.28	39.44
CO ₂	0.05	44.00

Gustoću zraka pri standardnim uvjetima računamo iz jednadžbe stanja idealnog plina:

$$p\alpha = RT \rightarrow p = \rho RT \rightarrow \rho = \frac{p}{RT}$$

$$\rho = \frac{101325 \text{ Pa}}{287.02 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1} \cdot 273.15 \text{ K}} = 1.292 \text{ kg m}^{-3}.$$

2. Uzorak zraka mase 50 g nalazi se pri tlaku od 1000 hPa i temperaturi 180 K. Uzorku se izobarno dodaje toplina sve dok mu volumen ne ekspandira za 21%. Kolika je temperatura zraka nakon ekspanzije?

Rješenje:

$$m = 50 \text{ g}$$

$$p = 1000 \text{ hPa} = \text{const.}$$

$$T_1 = 180 \text{ K}$$

$$V_2 = 1.21 V_1$$

$$T_2 = ?$$

Charlesov zakon:

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_1}{T_1} \rightarrow T_2 = \frac{V_2 T_1}{V_1} \rightarrow T_2 = 180 \text{ K} \cdot \frac{1.21 V_1}{V_1} = 217.8 \text{ K}$$

3. Uzroku zraka mase 50 g koji se nalazi pri tlaku od 1000 hPa i temperaturi 180 K izobarno se dodaje toplina dok ne postigne temperaturu od 198 K. Kolika je promjena volumena plina? Rezultat izrazite u postotcima.

Rješenje:

$$m = 50 \text{ g}$$

$$p = 1000 \text{ hPa} = \text{const.}$$

$$T_1 = 180 \text{ K}$$

$$T_2 = 198 \text{ K}$$

$$\Delta V = ?$$

Charlesov zakon:

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_1}{T_1} \rightarrow V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = 1.1 \cdot V_1,$$

$$\Delta V = V_2 - V_1 = 1.1 \cdot V_1 - V_1 = 0.1 \cdot V_1.$$

Plin ekspandira za 10%.

4. Koliko se molekula nalazi u kubičnom centimetru zraka pri standardnim uvjetima?

Rješenje:

$$T = 273.15 \text{ K}$$

$$p = 101325 \text{ Pa}$$

$$\rho = 0.00129 \text{ g cm}^{-3}$$

$$V = 1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$N = ?$$

$$V_m = 22.414 \text{ m}^3 \text{ kmol}^{-1} = 0.022414 \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$$

$$V_m = \frac{V}{n} \rightarrow n = \frac{V}{V_m},$$

$$n = \frac{N}{N_A},$$

$$N = \frac{V}{V_m} \cdot N_A = \frac{10^{-6} \text{ m}^3}{0.022414 \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}} \cdot 6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 2.686 \cdot 10^{19} \text{ molekula.}$$

5. Izračunajte prividnu molekularnu masu atmosfere Venere ako se njezin volumen sastoji od 95% ugljičnog dioksida i 5% molekularnog dušika. Koliko iznosi specifična plinska konstanta takve atmosfere?

PLIN	UDIO MASE [%]	MOLEKULARNA MASA [10 ⁻³ kg mol ⁻¹]
CO ₂	95	44
N ₂	5	28.02

Rješenje:

Prividna molekularna masa

$$\bar{M} = \frac{\sum_{k=1}^n m_k}{\sum_{k=1}^n \frac{m_k}{M_k}}.$$

$$m(\text{CO}_2) = \frac{95}{100} \cdot m_V,$$

$$m(\text{N}_2) = \frac{5}{100} \cdot m_V,$$

gdje je m_V masa atmosfere Venere.

5. Izračunajte prividnu molekularnu masu atmosfere Venere ako se njezin volumen sastoji od 95% ugljičnog dioksida i 5% molekularnog dušika. Koliko iznosi specifična plinska konstanta takve atmosfere?

PLIN	UDIO MASE [%]	MOLEKULARNA MASA [10 ⁻³ kg mol ⁻¹]
CO ₂	95	44
N ₂	5	28.02

$$\bar{M} = \frac{m(\text{CO}_2) + m(\text{N}_2)}{\frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} + \frac{m(\text{N}_2)}{M(\text{N}_2)}} = \frac{m_V}{\frac{\frac{95}{100} \cdot m_V}{44 \cdot 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}} + \frac{\frac{5}{100} \cdot m_V}{28.02 \cdot 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}}},$$

$$\bar{M} = 0.0427 \text{ kg mol}^{-1} = 42.78 \cdot 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1} = 42.78 \text{ kg kmol}^{-1}.$$

Specifična plinska konstanta:

$$R = \frac{R^*}{\bar{M}} = \frac{8314 \text{ J kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}}{42.78 \text{ kg kmol}^{-1}} = 194.34 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}.$$

6. Izračunajte kolika je gustoća Venerine atmosfere ako pripadna molekularna masa iznosi $42.78 \text{ kg kmol}^{-1}$, prosječna temperatura na površini $464 \text{ }^{\circ}\text{C}$, a atmosferski tlak na površini Venere iznosi 9321.9 kPa .

Rješenje:

Jednadžba stanja idealnog plina:

$$pV_m = R^*T \leftarrow V_m = \alpha \cdot M$$

$$p\alpha = \frac{R^*}{M}T$$

$$p = \rho \frac{R^*}{M}T$$

$$\rho = \frac{p \cdot M}{R^* \cdot T} = \frac{9321900 \text{ Pa} \cdot 42.78 \cdot 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}}{8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 737.15 \text{ K}} = 65.06 \text{ kg m}^{-3}$$

7. Pokažite da se jednačba stanja idealnog plina izvedena za jediničnu masu $p\alpha = RT$ može za proizvoljnu masu plina m pisati u obliku $pV = nR^*T$.

Rješenje:

Jednačba stanja idealnog plina izvedena za jediničnu masu:

$$p\alpha = RT \quad / \cdot m$$

gdje je $m = nM$ proizvoljna masa, n broj (kilo)molova koji se nalazi u masi plina m koja zauzima volumen V .

$$p\alpha nM = RTnM,$$

uz definiciju plinske konstante $R^* = RM$, te specifičnog volumena $\alpha = \frac{V}{m}$,

$$p \frac{V}{m} nM = nR^*T$$

$$p \frac{V}{m} m = nR^*T$$

$$pV = nR^*T$$

8. Polazeći od Clapeyronovog oblika jednačbe stanja idealnog plina $pV = nR^*T$ pokažite da se ista jednačba može pisati u obliku $pV = NkT$, gdje je N broj molekula ili atoma u volumenu plina V , a k je Boltzmannova konstanta.

Rješenje:

Clapeyronov oblika jednačbe stanja idealnog plina:

$$pV = nR^*T,$$

gdje je n je broj molova plina, N_A je Avogadrov broj, N je ukupan broj atoma ili molekula u volumenu plina V .

$$N = n \cdot N_A,$$
$$pV = \frac{N}{N_A} R^*T.$$

Boltzmannova konstanta

$$k = \frac{R^*}{N_A} = \frac{8.314 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}}{6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}.$$

$$pV = NkT.$$

9. Iz radiosondažnih podataka za tlak zraka p , te temperaturu T odredite promjenu gustoće atmosfere s visinom. Prividna molekularna masa atmosfere iznosi $28.967 \cdot 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}$. Grafički prikažite vertikalne profile temperature, tlaka i gustoće atmosfere. Radiosondažni podaci za tlak, temperaturu i druge meteorološke veličine dostupni su na poveznici: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

Rješenje:

Gustoća se računa preko jednadžbe stanja idealnog plina

$$p\alpha = RT,$$

$$p = \rho RT,$$

$$\rho = \frac{p}{RT},$$

gdje je specifična plinska konstanta

$$R = \frac{R^*}{M} = \frac{8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}}{28.967 \cdot 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}} = 287.02 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1},$$

9. Iz radiosondažnih podataka za tlak zraka p, te temperaturu T odredite promjenu gustoće atmosfere s visinom. Prividna molekularna masa atmosfere iznosi $28.967 \cdot 10^{-3} \text{kg mol}^{-1}$. Grafički prikažite vertikalne profile temperature, tlaka i gustoće atmosfere. Radiosondažni podaci za tlak, temperaturu i druge meteorološke veličine dostupni su na poveznici: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

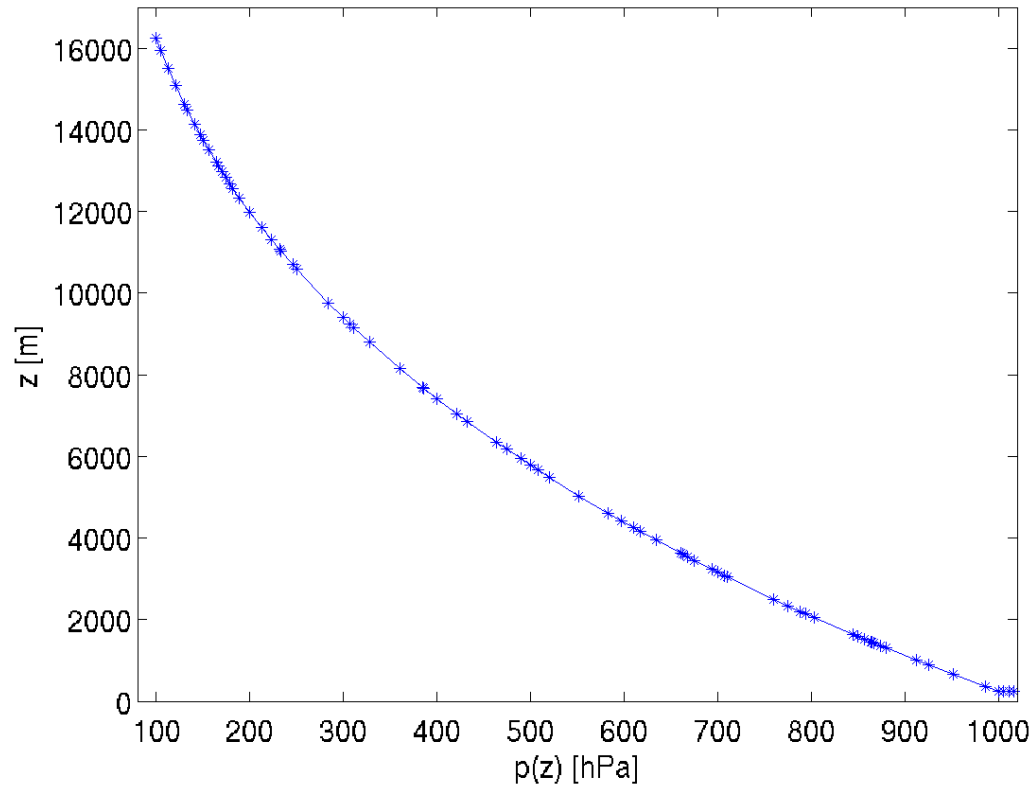
14240 LDDD Zagreb Observations at 00Z 25 Oct 2021

PRES	HGHT	TEMP	DWPT	RELH	MIXR	DRCT	SKNT	THTA	THTE	THTV
hPa	m	C	C	%	g/kg	deg	knot	K	K	K
1016.0	246	3.8	1.2	83	4.13	350	2	275.7	287.1	276.4
1011.0	249	7.0	0.0	61	3.80	12	3	279.3	290.0	279.9
1005.0	252	8.6	-0.4	53	3.71	38	5	281.4	291.9	282.0
1000.0	255	8.2	-0.8	53	3.62	60	6	281.4	291.7	282.0
986.0	371	8.4	-1.6	49	3.46	83	7	282.7	292.7	283.3
952.0	659	6.1	-2.3	55	3.42	140	10	283.2	293.1	283.8
925.0	895	4.2	-2.8	60	3.38	140	14	283.6	293.4	284.2
912.0	1010	3.3	-2.8	64	3.43	140	10	283.8	293.7	284.4
880.0	1299	1.0	-2.8	76	3.55	95	10	284.4	294.7	285.0
874.0	1354	0.6	-2.8	78	3.58	105	11	284.5	294.8	285.1
867.0	1419	2.6	-22.4	14	0.74	117	13	287.2	289.6	287.4
865.0	1438	3.3	-25.1	10	0.58	120	14	288.1	290.0	288.2
864.0	1447	3.6	-26.4	9	0.52	121	14	288.6	290.3	288.6
857.0	1513	4.2	-25.8	9	0.55	125	16	289.9	291.7	289.9
850.0	1580	4.0	-25.0	10	0.60	130	17	290.3	292.3	290.4
845.0	1628	4.3	-25.5	9	0.57	135	19	291.2	293.1	291.3
803.0	2045	7.3	-30.0	5	0.40	115	14	298.6	300.0	298.7
794.0	2137	8.0	-31.0	4	0.37	130	11	300.3	301.6	300.4
788.0	2200	7.7	-30.1	5	0.40	140	10	300.6	302.0	300.7
775.0	2337	7.0	-28.0	6	0.50	124	12	301.3	303.0	301.4
760.0	2495	5.8	-25.6	8	0.63	105	14	301.7	303.9	301.8
710.0	3049	1.7	-17.1	23	1.41	95	14	303.1	307.7	303.3
707.0	3083	1.4	-16.6	25	1.48	99	14	303.1	308.0	303.4
700.0	3163	1.0	-18.0	23	1.33	110	14	303.6	308.0	303.8
694.0	3232	0.7	-19.4	21	1.19	115	14	303.9	307.9	304.1
675.0	3454	-0.5	-24.1	15	0.81	110	17	305.1	307.9	305.2
668.0	3537	-0.9	-25.9	13	0.70	122	19	305.5	307.9	305.6
663.0	3597	-0.5	-32.6	7	0.37	130	19	306.6	308.0	306.7
661.0	3621	-0.3	-35.3	5	0.29	130	19	307.1	308.2	307.2
634.0	3952	-2.2	-38.4	4	0.22	125	12	308.6	309.5	308.7
617.0	4167	-3.4	-40.4	4	0.18	155	8	309.6	310.3	309.7
610.0	4257	-3.9	-41.3	4	0.17	170	10	310.1	310.7	310.1
597.0	4428	-4.9	-42.9	3	0.15	146	10	310.9	311.4	310.9
583.0	4610	-6.5	-42.4	4	0.16	120	10	311.1	311.8	311.2
552.0	5030	-10.0	-41.4	6	0.19	90	10	311.8	312.5	311.9
520.0	5489	-13.9	-40.2	9	0.22	95	17	312.5	313.3	312.5

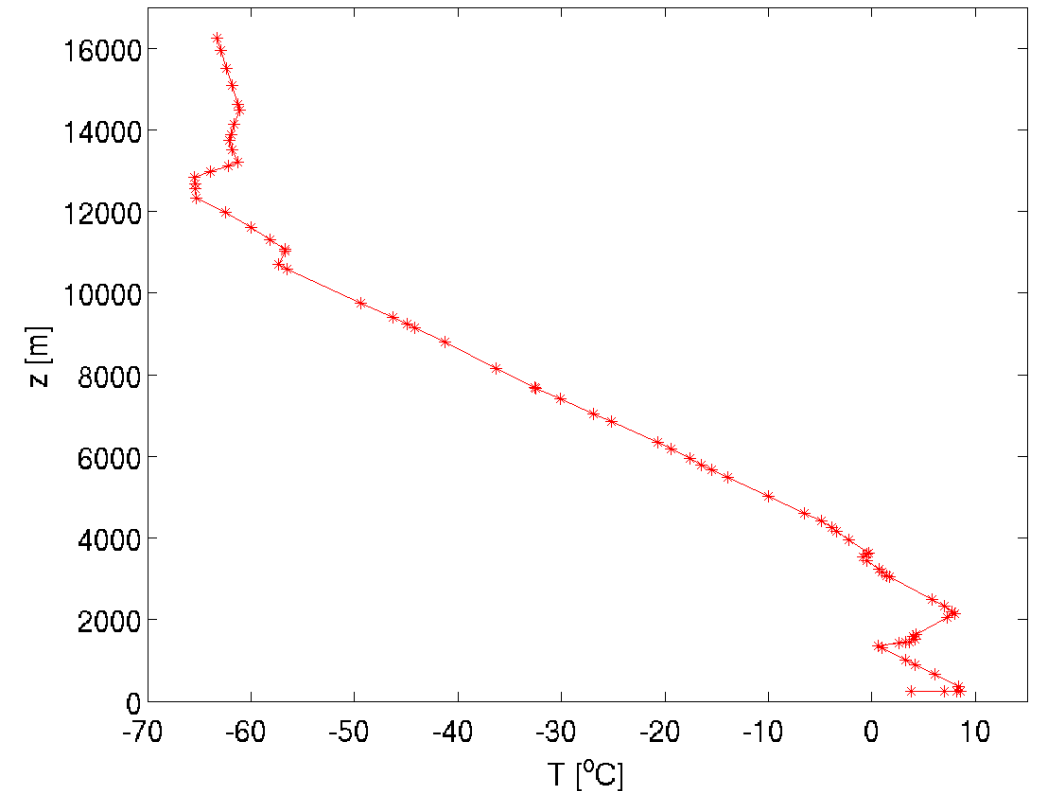
PRES	HGHT	TEMP	DWPT	RELH	MIXR	DRCT	SKNT	THTA	THTE	THTV
hPa	m	C	C	%	g/kg	deg	knot	K	K	K
508.0	5668	-15.5	-39.8	10	0.24	110	17	312.7	313.6	312.8
500.0	5790	-16.5	-39.5	12	0.25	100	17	312.9	313.8	312.9
490.0	5940	-17.6	-44.4	8	0.15	95	16	313.3	313.9	313.3
475.0	6171	-19.4	-52.0	4	0.07	120	14	313.9	314.2	313.9
464.0	6346	-20.7	-57.7	2	0.03	118	15	314.4	314.5	314.4
432.0	6863	-25.2	-55.5	4	0.05	110	17	315.1	315.3	315.1
421.0	7050	-26.9	-54.7	5	0.05	130	14	315.4	315.6	315.4
400.0	7420	-30.1	-53.1	9	0.07	125	14	315.8	316.1	315.8
386.0	7673	-32.5	-51.5	13	0.09	125	17	315.9	316.2	315.9
385.0	7690	-32.6	-51.7	13	0.08	125	17	315.9	316.3	315.9
360.0	8152	-36.3	-56.5	11	0.05	155	17	317.2	317.4	317.2
328.0	8791	-41.3	-63.2	8	0.02	175	16	318.8	318.9	318.8
311.0	9157	-44.2	-67.0	6	0.02	160	16	319.6	319.7	319.6
307.0	9246	-44.9	-67.9	6	0.01	155	15	319.9	319.9	319.9
300.0	9400	-46.3	-68.3	6	0.01	145	14	320.0	320.1	320.0
284.0	9758	-49.4	-68.1	9	0.01	115	16	320.6	320.7	320.6
250.0	10590	-56.5	-67.5	24	0.02	120	25	321.9	322.0	321.9
246.0	10692	-57.3	-68.3	23	0.02	113	24	322.2	322.3	322.2
233.0	11035	-56.7	-74.2	9	0.01	90	21	328.1	328.1	328.1
232.0	11063	-56.7	-74.7	9	0.01	95	21	328.6	328.6	328.6
223.0	11310	-58.2	-74.4	11	0.01	140	14	329.9	330.0	329.9
213.0	11597	-60.0	-74.0	14	0.01	150	12	331.5	331.6	331.5
200.0	11900	-62.5	-73.5	21	0.01	140	8	333.6	333.7	333.6
189.0	12336	-65.3	-72.3	37	0.01	245	4	334.6	334.6	334.6
182.0	12564	-65.4	-73.8	30	0.01	275	12	338.0	338.1	338.0
179.0	12665	-65.4	-74.4	28	0.01	285	10	339.6	339.6	339.6
174.0	12837	-65.5	-75.5	24	0.01	288	5	342.2	342.3	342.2
170.0	12979	-63.9	-78.2	13	0.01	290	2	347.2	347.3	347.2
166.0	13125	-62.2	-80.9	6	0.00	260	10	352.4	352.5	352.4
164.0	13199	-61.3	-82.3	5	0.00	265	13	355.1	355.1	355.1
156.0	13508	-61.8	-83.3	4	0.00	285	25	359.4	359.5	359.5
150.0	13750	-62.1	-84.1	4	0.00	305	21	362.9	362.9	362.9
147.0	13875	-61.9	-84.3	4	0.00	315	19	365.3	365.3	365.3
141.0	14132	-61.6	-84.6	3	0.00	305	14	370.3	370.3	370.3
133.0	14493	-61.1	-85.1	3	0.00	316	15	377.4	377.4	377.4
130.0	14634	-61.3	-85.3	3	0.00	320	16	379.5	379.5	379.5
121.0	15076	-61.8	-85.8	3	0.00	275	19	386.4	386.4	386.4
113.0	15497	-62.4	-86.4	3	0.00	295	29	393.0	393.0	393.0
105.0	15949	-62.9	-86.9	3	0.00	320	17	400.3	400.3	400.3
100.0	16250	-63.3	-87.3	3	0.00	285	12	405.2	405.2	405.2

9. Iz radiosondažnih podataka za tlak zraka p , te temperaturu T odredite promjenu gustoće atmosfere s visinom. Prividna molekularna masa atmosfere iznosi $28.967 \cdot 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}$. Grafički prikažite vertikalne profile temperature, tlaka i gustoće atmosfere. Radiosondažni podaci za tlak, temperaturu i druge meteorološke veličine dostupni su na poveznici: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

Vertikalni profil tlaka



Vertikalni profil temperature



9. Iz radiosondažnih podataka za tlak zraka p , te temperaturu T odredite promjenu gustoće atmosfere s visinom. Prividna molekularna masa atmosfere iznosi $28.967 \cdot 10^{-3} \text{kg mol}^{-1}$. Grafički prikažite vertikalne profile temperature, tlaka i gustoće atmosfere. Radiosondažni podaci za tlak, temperaturu i druge meteorološke veličine dostupni su na poveznici: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

