

CTD Hertentamen bundel voor 1^e jaar MST

11 April 2022 09:00 – 12:00

Beste MST'er,

Wat ontzettend leuk dat je ervoor hebt gekozen om de CTD hertentamentraining te volgen. Deze bundel bevat 6 oud tentamen opgaven die de belangrijkste onderwerpen omvatten. We hebben maar beperkt tijd (3 uurtjes) en daarom raad ik je aan om alvast naar de opgaven te kijken of zelfs al te proberen voor aanvang van de training. Tijdens de training ga ik de opgaven uit de bundel bespreken, maar de focus ligt vooral op het beredeneren waarom een antwoord *juist/onjuist* is. Het doel is dus om aan de hand van opgaven de belangrijkste stof van het vak samen te vatten. Ik kijk er ontzettend naar uit je te mogen ontvangen in zaal C7 van het Gorlaeus!

-Brett

P.S. Als het goed is zit je in de CTD hertentamen training groepsapp. Heb je al vragen, dan kan je deze in de groepsapp zetten. Ik zal er dan tijdens de training op proberen terug te komen.

P.P.S. De formules staan achterin dit bestand ;)

Opgave 1: Multiple choice

1.1: Net boven het kritisch punt zien we in het PV-diagram dat de dampdruk

- A. geen afwijkingen meer van het ideaal gedrag vertoont
- B. afwijkingen vertoont van het ideaal gedrag als gevolg van de repulsieve interacties
- C. afwijkingen vertoont van het ideaal gedrag als gevolg van de attractieve interacties
- D. afwijkingen vertoont van het ideaal gedrag als gevolg van de repulsieve en attractieve interacties

1.2: De drukafhankelijkheid van de enthalpie van een ideaal gas is

- A. 0.
- B. afhankelijk van het molaire volume.
- C. afhankelijk van de temperatuur.
- D. Geen van genoemde opties A,B,C is correct.

1.3: De fugaciteit

- A. is altijd groter dan de waargenomen druk.
- B. is altijd kleiner dan de waargenomen druk.
- C. Geen van de uitspraken in A,B, D is correct.
- D. is altijd gelijk aan de waargenomen druk.

1.4: De evenwichtsconstante K_f is

- A. niet temperatuurafhankelijk.
- B. Afhankelijk van de fugaciteit van de componenten van de reactie
- C. niet drukafhankelijk.
- D. drukafhankelijk.

1.5: In tegenstelling tot wat we bij water zien, wordt het smeltpunt van CO₂-ijs hoger als we de druk verhogen. Dit komt omdat de

- A. entropie van CO₂ bij smelten toeneemt.
- B. dichtheid van CO₂ bij smelten afneemt.
- C. enthalpie van CO₂ bij smelten toeneemt.
- D. Gibbs energie van CO₂ bij smelten toeneemt.

1.6: In ideaal verdunde mengsels van A en B representeert de Henry constante H_B

- A. de bindingen tussen de moleculen van het oplosmiddel (A-A)
- B. de bindingen tussen de moleculen van de opgeloste stof (B-B)
- C. de bindingen van de moleculen van het oplosmiddel (A) met de opgeloste stof (B)
- D. de bindingen van de moleculen van de opgeloste stof (B) met het oplosmiddel (A)

1.7: Bij de reversibele isotherme expansie van een gas geldt altijd dat

- A. $\Delta U \neq 0$.
- B. $\Delta H \neq 0$.
- C. $\Delta S = 0$.
- D. $w \neq 0$.

1.8: Bij een adiabatische expansie geldt altijd

- A. $\Delta U = 0$.
- B. $\Delta S = 0$.
- C. $q = 0$.
- D. $w = 0$.

1.9: Boven de Boyle temperatuur van een niet-ideaal gas

- A. treedt er condensatie op
- B. verliezen de attractieve krachten het van de repulsieve krachten.
- C. kan er een evenwicht tussen vloeistof en damp ontstaan.
- D. is de fugaciteit nul.

1.10: Boven de Boyle temperatuur

- A. is de fugaciteitsconstante kleiner dan 1.
- B. is de fugaciteit gelijk aan de druk
- C. is de fugaciteitsconstante gelijk aan nul.
- D. is de fugaciteitsconstante groter dan 1.

1.11: Als ik een niet-ideaal gas bij constante druk adiabatisch comprimeer tot de helft van het originele volume dan geldt

- A. $q = 0, C_p \Delta T \neq w$
- B. $q = 0, C_p \Delta T = w$
- C. $q \neq 0, \Delta H \neq 0$
- D. $q \neq 0, \Delta H = 0$

1.12: De osmotische druk is een gevolg van de

- A. verlaging van de chemische potentiaal van het oplosmiddel als gevolg van de druk.
- B. verhoging van de chemische potentiaal van het oplosmiddel als gevolg van de druk.
- C. verlaging van de chemische potentiaal van het oplosmiddel als gevolg van een zekere. hoeveelheid opgeloste stof
- D. Een combinatie van B en C.

1.13: Gegeven een huis dat verwarmd wordt met een warmtepomp die zijn energie betreft uit het grondwater om 's winters te verwarmen en die middels een uitwisseling met de buitenlucht in de zomer zorgt voor verkoeling. Gegeven een gewenste binnentemperatuur van 20 graden C, een buitentemperatuur in zomer van 30 graden C en een grondwatertemperatuur in de winter van 5 graden C. Gegeven een ideaal Carnot proces

- A. dan zal de efficiëntie van verwarmen in de winter groter zijn dan de efficiëntie van het koelen in de zomer
- B. dan zal de efficiëntie van verwarmen in de winter kleiner zijn dan de efficiëntie van het koelen in de zomer
- C. dan zal dat niets uitmaken voor de efficiëntie waarmee het huis wordt verwarmd of gekoeld
- D. Geen van de uitspraken A, B, C is waar.

1.14: Met een realistisch cyclisch proces kan warmte in arbeid worden omgezet indien de totale

- A. entropie van de temperatuurbaden daarbij toeneemt.
- B. entropie van de temperatuurbaden daarbij afneemt.
- C. entropie van de temperatuurbaden daarbij constant blijft.
- D. interne energie van de temperatuurbaden toeneemt.

1.15: De kringintegraal van

- A. $q_{\text{rev}} = 0$.
- B. $q = 0$.
- C. $q/T = 0$.
- D. $q_{\text{rev}}/T = 0$.

1.16: Als we capillair opstijging zien

- A. Dan weten we dat de vloeistof in de buis een bolle meniscus heeft gevormd.
- B. Dan weten we dat de vloeistof in de buis een holle meniscus heeft gevormd.
- C. Dan weten we dat de vloeistof in de buis een zekere hoeveelheid verontreiniging bevat.
- D. Dan weten we dat de vloeistof in de buis volkomen puur is.

1.17: De oppervlaktespanning van nano-deeltjes zorgt ervoor dat

- A. Het nanodeeltje nooit zal samensmelten met een ander nanodeeltje.
- B. Het nanodeeltje een lagere dampspanning heeft dan een corresponderend macroscopisch deeltje.
- C. Het nanodeeltje een hogere dampspanning heeft dan een corresponderend macroscopisch deeltje.
- D. Het nanodeeltje op elke vloeistof zal blijven drijven.

1.18: De vriespuntsverlaging van water door het bijmengen van 1 mol zout met de bruto formule A_xB_y

- A. Hangt niet af van de ratio x/y .
- B. Hangt wel af van de ratio x/y .
- C. Hangt niet af van de dissociatiegraad van het zout.
- D. Hangt wel af van de ratio van de molecuulgewichten $M_{W,A}/M_{W,B}$.

1.19: Een proces kan spontaan een overgang van toestand A naar toestand B bewerkstelligen indien

- A. $G_A < G_B$
- B. $G_A = G_B$
- C. $G_A \sim G_B$
- D. $G_A > G_B$

1.20: Gegeven de vorming van methaan (CH_4) uit waterstof en grafiet. Als ik de druk verhoog dan zal

- A. Het evenwicht verschuiven in de richting van waterstof.
- B. Het evenwicht verschuiven in de richting van methaan.
- C. Het evenwicht niet verschuiven, want K_p is niet drukafhankelijk.
- D. De richting waarin het evenwicht verschuift, afhangen van de gekozen temperatuur .

Opgave 2: De thermodynamica van een chemische reactie

	ΔH_f° (kJ mol ⁻¹)	ΔG_f° (kJ/mol ⁻¹)	S_m° (J mol ⁻¹ K ⁻¹)	$C_{p,m}$ (J mol ⁻¹ K ⁻¹)
Benzeen (l)	49.1	124.5	173.4	136.0
Benzeen (g)	82.9	129.7	269.2	82.4
Methaan	-74.6	-50.5	186.3	35.7
Zuurstof	0	0	205.2	29.4
Water (g)	-241.8	-228.6	188.8	33.6
Water (l)	-285.8	-237.1	70	75.3
CO ₂	-393.5	-394.4	213.8	37.1

Beschouw een chemische reactie waarbij equimolaire hoeveelheden benzeen (C₆H₆) en methaan (CH₄) worden verbrand tot CO₂ en water

2.1: Schrijf de reactievergelijking op.

2.2: Bereken van deze reactie de Gibbs reactie energie bij standaard omstandigheden.

2.3: Bereken de reactie-enthalpie bij standaard omstandigheden.

2.4: Bereken de reactie-entropie bij standaard omstandigheden.

2.5: Bereken de reactie-enthalpie bij 350 K en 1 bar.

Neem aan dat $\Delta C_p^\circ(T) = \text{constant}$ in de 298.15 tot 350 K range.

2.6: Bereken de reactie entropie bij 350 K en 1 bar.

Neem aan dat $\Delta C_p^\circ(T) = \text{constant}$ in de 298.15 tot 350 K range.

2.7: Bereken de Gibbs reactie energie bij 350 K en 1 bar.

2.8: Bereken de verandering van de Gibbs energie bij 350 K en 5 bar.

Opgave 3: Het gedrag van CO₂ ideaal gas

In een cilinder met een inhoud van 0.50 dm³ zit 10 gram CO₂. De warmte capaciteit van het gas vanaf het kookpunt tot 500 K is gegeven door $C_p^\circ = 37.1 \text{ (J/(mol}\cdot\text{K))}$; $\mu_{(J-T)} \text{ (K/MPa)} = 10.9$; $P_{\text{ext}} = 1.0 \text{ bar}$.

3.1: Bereken de druk in de cilinder, waarbij je mag aannemen dat het gas zich ideaalgedraagt.

3.2: We laten het gas reversibel en adiabatisch expanderen tot een eind volume van 2.5 dm³. Bereken de uiteindelijke temperatuur.

3.3: Bereken de verandering in interne energie, ΔU van het gas. Als je in 3.2 het antwoord niet hebt gevonden neem je een eindtemperatuur van 200 K aan.

3.4: Bepaal de hoeveelheid arbeid die is verricht door het ideale gas.

3.5: Bereken de verandering in enthalpie van het ideale gas.

Opgave 4: Capillaire opstijging

4.1: Gegeven is een bolletje kwik met een diameter van 2 micrometer. Bereken de interne druk van het bolletje in lucht, gegeven een oppervlaktespanning die getabelleerd is als: $\gamma = 425 \text{ mJ/m}^2$. Geef in je antwoord een dimensiebeschouwing. N.B: $\Delta P = P_{\text{in}} - P_{\text{out}} = 2\gamma/r$.

4.2: Gegeven is een nauwe buis met een diameter van 0.01 mm die in een kwikbad wordt geplaatst. Er vormt zich een bolle meniscus. Beredeneer of hier sprake is van capillaire opstijging of capillaire depressie.

4.3: Bereken het maximale hoogteverschil tussen het kwikbad en het capillair, op basis van de in a) gegeven een oppervlakte spanning. Geef je antwoord in de vorm van methode, uitwerking en beschouwing. De dichtheid van kwik is 13.6 g/cm^3 .

Opgave 5: Oppervlakte energie en fasenevenwicht

5.1: Gegeven onderstaande data, bereken de evenwichts­damp­druk bij 50 graden Celsius. Geef aan wat je aannames zijn.

5.2: Gegeven dampdruppels van kwik met een straal van 100 nm, bereken de damp­druk van deze druppels bij 25 graden Celsius.

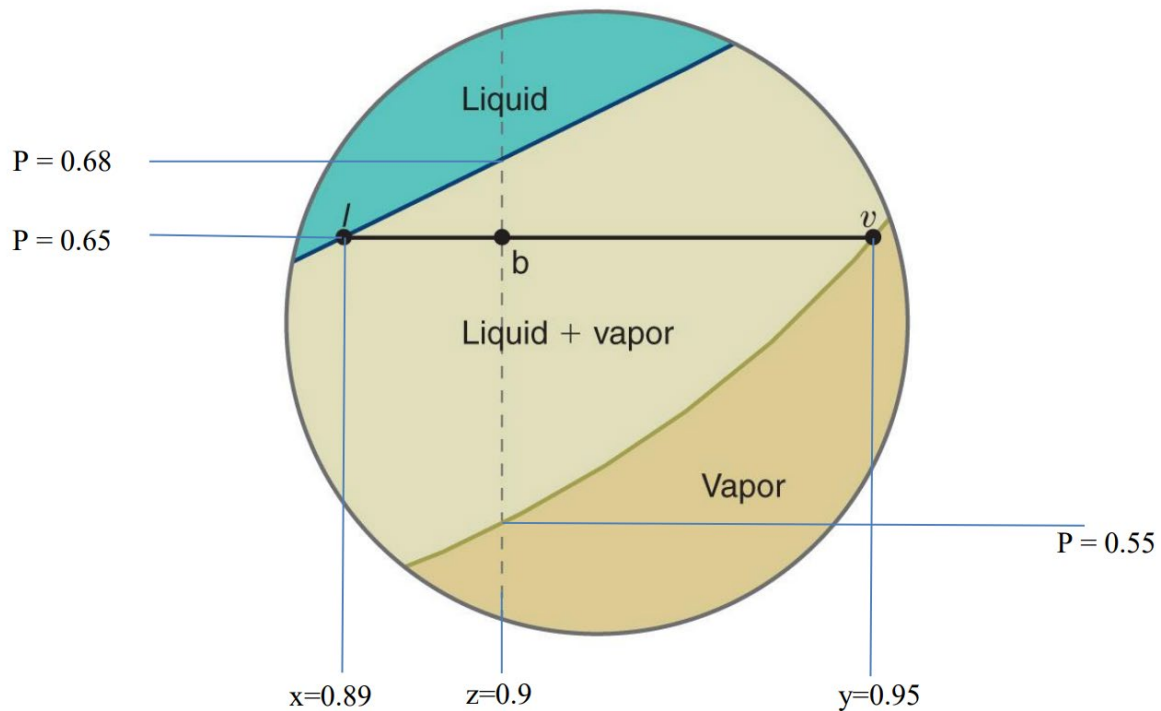
5.3: Bereken bij welke equivalente externe druk met een neutraal gas (bijv Ar) de damp­druk van een macroscopische hoeveelheid kwik toeneemt met 10% bij 25 graden Celsius.

Oppervlakte energie (mJ/m ²)	Damp­druk (atm)	ΔH_{vap} (kJ/mol)	Molair volume (m ³ /mol)
485	0.00243	59.2	0.0000148

Data van kwik bij standaard omstandigheden en 298 K.

Opgave 6: Mengsels en de hefboomregel

Onderstaande figuur is een uitsnede van het tweefasengebied uit het fasendiagram van een ideaal hexaan/pentaaan mengsel. Op de horizontale as staat de fractie pentaan. Op de verticale as is de druk weergegeven in atmosfeer. Het uitgangspunt is een mengsel bestaande uit in totaal 300 mol gas waarvan de compositie gegeven is als $z = 0.9$. De dampdruk van hexaan is 0.2 bar, de dampdruk van zuiver pentaan is 0.7 bar.



6.1: Startend vanuit de vloeistoffase: wat is de compositie van de initieel gevormde dampfase?

6.2: Hoeveel mol vloeistof is er gevormd als we de druk zodanig hebben verlaagd dat we met het vloeistof/gas mengsel in punt b zijn aangeland? Hoeveel mol pentaan bevindt zich dan in de gasfase?

6.3: Hoeveel mol vloeistof is er gevormd als we de druk zodanig hebben verlaagd dat we met het vloeistof/gas mengsel in punt b zijn aangeland? Hoeveel mol pentaan bevindt zich dan in de gasfase?

EXTRA OPGAVEN

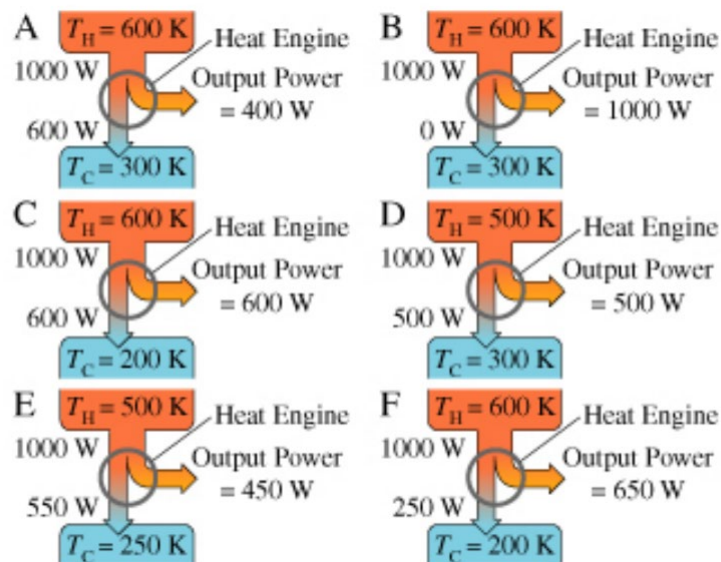
Extra opgave 1: Entropie

Als onderdeel van je werk in het patentbureau word je gevraagd om zes ontwerpen voor nieuwe warmte machines te evalueren (zie tekening hieronder).

1.1: Welke ontwerpen (meerdere antwoorden mogelijk) zijn in strijd met de eerste wet van de thermodynamica? Leg uit waarom.

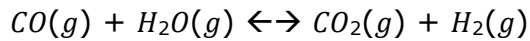
1.2: Welke van de overige ontwerpen (meerdere antwoorden mogelijk) zijn in strijd met de tweede wet van de thermodynamica? Leg uit waarom.

1.3: Bereken de efficiency van de/het overgebleven ontwerp(en).



Extra opgave 2: Evenwichtsreactie

Beschouw de volgende evenwichtsreactie:



Bij 1150 K, respectievelijk 650 K bestaat het reactiemengsel uit de volgende compositie:

Verbinding	CO ₂ (g)	H ₂ (g)	CO (g)	H ₂ O (g)
Molfracties bij T= 1150 K	0.203	0.203	0.297	0.297
Molfracties bij T = 650 K	0.391	0.391	0.109	0.109
Fugaciteitsconstanten	1.1	1.4	0.9	0.8

2.1: Bereken K_x en K_p bij beide temperaturen bij een druk van 100 bar onder ideale gas condities.

2.2: Bereken ΔH°_R , er vanuit gaande dat deze niet temperatuurafhankelijk is.

2.3: Bereken de ΔS°_R , er vanuit gaande dat deze niet temperatuurafhankelijk is.

2.4: Stel dat dit evenwicht niet onder ideale gascondities plaatsvindt. Bereken de K_x bij 1150 K en 100 bar. Is de hoeveelheid product toe- of afgenomen.

Formula sheet Chemical Thermodynamics

Name	Expression
Van der Waals equation of state	$P = \frac{nRT}{V - nb} - \frac{an^2}{V^2}$
First law of thermodynamics	$\Delta U = q + w$
Second law of thermodynamics	$\Delta S = \frac{dq_{rev}}{T}$
Enthalpy	$H = U + PV$
Gibbs free energy	$G = H - TS = U + PV - TS$
Volume expansion	$w = - \int_{V_i}^{V_f} P_{external} dV$
Heat capacity	$C = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{q}{T_f - T_i} = \frac{dq}{dT}$ $C_V = \frac{dq_V}{dT} = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V$ $C_P = \frac{dq_P}{dT} = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_P = C_V + TV \frac{\beta^2}{\kappa}$ $C_P - C_V = nR$
Thermodynamic equilibrium constant	$\ln K_P = \frac{-\Delta G_R}{RT}$
Isobaric volum. Isotherm. Exp. coefficient	$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$
Isotherm compressibility	$\kappa = - \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$
Reversible adiabatic expansion/compression	$\frac{T_f}{T_i} = \left(\frac{V_f}{V_i} \right)^{1-\gamma} \quad \gamma = \frac{C_{P,m}}{C_{V,m}}$
Potential energy	$E_{pot} = mgh$
Carnot efficiency	$\epsilon = \frac{ \omega_{cycle} }{q_{ab}} = \frac{T_{hot} - T_{cold}}{T_{hot}}$
Coefficient of performance heat pump	$\eta_{hp} = \frac{q_{hot}}{\omega} = \frac{T_{hot}}{T_{hot} - T_{cold}}$
Coefficient of performance Carnot fridge	$\eta_r = \frac{q_{cold}}{\omega} = \frac{T_{cold}}{T_{hot} - T_{cold}}$
Phase rule	$F = C - P + 2$
Compression factor	$z = \frac{V_m}{V_m^{ideal}} = \frac{PV_m}{RT}$
Universal law of corresponding states	$P_r = \frac{8T_r}{3V_{mr} - 1} - \frac{3}{V_{mr}^2}$
Gibbs free energy	$\Delta G_{mix} = nRT \sum_i x_i \ln x_i$ $\frac{\Delta G(T_2)}{T_{f2}} = \frac{\Delta G(T_1)}{T_1} + \Delta H_R^\circ(T_1) \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$ $\left(\frac{\partial G}{\partial \xi} \right)_{T,P} = \sum_i \nu_i \mu_i = \Delta G_R$
Joule Thomson coefficient	$\mu_{J-T} = \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_H ; \left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_T = -C_P \mu_{J-T}$

	$\mu_{J-T} = \frac{1}{C_{P,m}} \left(\frac{2a}{RT} - b \right)$
Fugacity	$f = \gamma(P, T)P$
Ideal gas	$\Delta S = -nR \ln \frac{P_f}{P_i} + nC_{P,m} \ln \frac{T_f}{T_i}$ $\Delta S = nR \ln \frac{V_f}{V_i} + nC_{V,m} \ln \frac{T_f}{T_i}$
Temperature dependent equilibrium constant	$\ln K_P(T_f) = \ln K_P(T_i) - \frac{\Delta H_R^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_f} - \frac{1}{T_i} \right)$ $K_P = K_x \left(\frac{P}{P^0} \right)^{\Delta v}$
Lever rule	$n_{liq}^{tot} (Z_B - x_B) = n_{vap}^{tot} (y_B - Z_B)$
Vapor pressure of binary solution	$y_1 = \frac{P_1^* P_{total} - P_1^* P_2^*}{P_{total} (P_1^* - P_2^*)}$
Clapeyron equation	$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta S_m}{\Delta V_m}$
Clausius-Clapeyron equation	$\ln \frac{P_f}{P_i} = - \frac{\Delta H_{vap}}{R} \left(\frac{1}{T_f} - \frac{1}{T_i} \right)$
Capillary rise	$h = \frac{2\gamma}{\rho g r}$
Pressure in a nano-droplet	$P_{inner} = P_{outer} + \frac{2\gamma}{r}$
T _{bp} elevation and T _{mp} depression	$\Delta T = \pm \frac{R M_{solvent} T_{transition}^2}{\Delta H_{transition}} m_{solute} = \pm K_f m_{solute}$
Van't Hoff equation	$\pi V = n_{solute} RT$
Pressure dependence	$RT \ln \left(\frac{P}{P^*} \right) = V_m^{liquid} (P - P^*)$
Activity	$a_{solvent} = \frac{P_{solvent}}{P_{solvent}^*}$
Activity coefficient	$\gamma_{solvent} = \frac{a_{solvent}}{x_{solvent}}$
Raoult's law	$P_i = x_i P_i^*$
Henry's law	$P_{solute} = x_{solute} k_H^{solute} \quad x_{solute} \rightarrow 0$
Boyle temperature	$T_B = \frac{a}{Rb}$
Chemical potential dependence	$d\mu = -S_m dT + V_m dP$

List of constants

Constant (symbol)	Value
Avogadro's constant (N_{Av})	$6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Boltzmann constant (k_B)	$1.380 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$
Molar gas constant (R)	$8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$; $8.314 \text{ Pa m}^3 \text{ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ $8.314 \times 10^{-2} \text{ L bar K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$; $8.206 \times 10^{-2} \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

Conversion table

unit	dimension	value
atmosphere	atm	101,325 Pa
bar	bar	$1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$
Standard temperature	T = 25 °C	298.15 K

EINDE :)