

Tentamen Warmte en Transport  
Woensdag 25 januari; 09:00-12:00

***Dit tentamen bevat 4 opgaven.***

***In verband met parallel nakijken: lever elke opgave in op een apart vel papier. Dus geen meerdere opgaven op één blaadje!!!***

***Schrijf op elk vel duidelijk je naam en studentnummer.***

Puntenverdeling:

Opgave 1: 20 punten  
Opgave 2: 28 punten  
Opgave 3: 22 punten  
Opgave 4: 20 punten

Totaal: 90 punten

Eindcijfer = (punten/10) + 1 + bonus,

waarbij de bonus het gemiddelde huiswerkcijfer is (laagste cijfer uit reeks wordt weggelaten!) gedeeld door 10.

### Opgave 1

- a) Geef een formulering van de nulde hoofdwet van de thermodynamica.
- b) Geef een formulering van de eerste hoofdwet van de thermodynamica.
- c) Geef een formulering van de tweede hoofdwet van de thermodynamica.
- d) Geef een formulering van de derde hoofdwet van de thermodynamica.
- e) Wat is isenthalpische expansie?
- f) Beredeneer of een isenthalpisch proces ook isothermisch is bij een constante druk.
- g) Een hoeveelheid neon van 255 mg (moleculair gewicht van 20,18 gram per mol) neemt  $3,0 \text{ dm}^3$  in bij 122 K. Gebruik de ideale gaswet ('perfect gas law') om de druk van het gas te berekenen.
- h) Een gas bij 250 K en 15 bar heeft een molair volume dat 12 procent kleiner is dan berekend volgens de ideale gaswet. Bereken de compressie factor  $Z$ .
- i) Van hetzelfde gas (onderdeel (h)), bereken het molaire volume.
- j) Beredeneer van het gas in onderdeel (h) of aantrekkende of repulsieve krachten dominant zijn.

## Opgave 2

Beschouw de volgende reversibele kringloop van  $n$  mol van een ideaal gas met constante warmtecapaciteit  $C_V$ .

- A  $\rightarrow$  B: isotherme expansie van volume  $V_1$  naar volume  $V_2$  bij temperatuur  $T_1$   
B  $\rightarrow$  C: afkoeling bij constant volume naar temperatuur  $T_2$   
C  $\rightarrow$  A: adiabatische compressie terug naar de uitgangspositie  $V_1, T_1$

- a) Schets deze kringloop in een  $p, V$ -diagram ( $p$  op de verticale as).
- b) Wat kun je zeggen over de verandering in inwendige energie van het systeem,  $\Delta U$ , en de verandering in entropie van het systeem,  $\Delta S$ , als de kringloop precies één keer wordt doorlopen?
- c) Laat zien dat de opgenomen warmte tijdens de A  $\rightarrow$  B stap gelijk is aan:

$$q_h = nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

- d) Laat zien dat de opgenomen warmte tijdens de B  $\rightarrow$  C stap gelijk is aan:

$$q_c = C_V(T_2 - T_1)$$

- e) Gebruik het gegeven dat het gas in de derde stap C  $\rightarrow$  A vanuit de toestand met  $(V_2, T_2)$  via reversibele adiabatische compressie teruggebracht wordt naar de beginsituatie  $(V_1, T_1)$  om te bewijzen dat de uitdrukking voor  $q_h$  in onderdeel (c) kan worden geschreven als:

$$q_h = C_V T_1 \ln \frac{T_1}{T_2}$$

- f) Laat zien dat de per kringloop verrichte arbeid in absolute waarde gelijk is aan:

$$|W| = C_V T_1 \ln \frac{T_1}{T_2} + C_V (T_2 - T_1)$$

- g) Laat zien dat voor de efficiëntie van deze kringloop geldt:

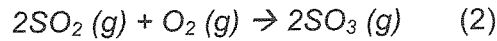
$$\varepsilon = 1 - \frac{T_1 - T_2}{T_1 \ln \frac{T_1}{T_2}}$$

### Opgave 3

Beschouw de volgende reactie



- a) Bereken  $\Delta_r S^\theta$ ,  $\Delta_r H^\theta$  en  $\Delta_r G^\theta$  bij  $T=298$  K. Verloopt de reactie spontaan bij deze temperatuur? Waarom?
- b) Neem aan dat  $\Delta_r S^\theta$  en  $\Delta_r H^\theta$  onafhankelijk van de temperatuur zijn. Laat zien voor welke temperaturen de reactie (1) niet spontaan verloopt.
- c) Beschouw de volgende reactie



Bereken  $\Delta_r S^\theta$  voor reactie (2) bij  $T = 298$  K.

Gegevens bij  $T = 298$  K :

	$\Delta_r H^\theta$ (kJ/mol)	$S_m^\theta$ (J K <sup>-1</sup> mol <sup>-1</sup> )
Ni (s)		30,1
CO (g)	-110,5	197,7
Ni(CO) <sub>4</sub> (g)	-607,3	416,8

	$\Delta_r H^\theta$ (kJ/mol)	$\Delta_r G^\theta$ (kJ/mol)
SO <sub>2</sub> (g)	-296,8	-300,2
SO <sub>3</sub> (g)	-396,7	-371,0

#### Opgave 4

- a) Wat is de definitie van de Helmholtz energie  $A$ ?
- b) Leid de fundamentele vergelijking  $dA = -SdT - pdV$  af.
- c) Gebruik de fundamentele vergelijking uit onderdeel (b) om de Maxwell relatie  $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V$  af te leiden.
- d) Gebruik de Maxwell relatie afgeleid in onderdeel (c) en laat zien dat de entropie van een perfect gas van het volume afhangt volgens  $S \propto R \ln V$ .