

VÄRMEPUMPEN  
EN INTRODUKTION FÖR LABORATIONSASSISTENTER

TERMODYNAMIK  
SI1121

5 december 2017

## 1 Förberedelsefrågor

### 1.1 Definiera termodynamikens andra lag

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T} \quad (1)$$

Detta förklarar varför vissa saker bara sker i en tidsriktning (kaffet kallnar i en kallare omgivning, universums värmedöd).

### 1.2 Vilken relation mellan volym, tryck och temperatur är applicerbar i ett system med både gas och vätska?

Van der Waals equation

$$\left(p + a \left(\frac{n}{V}\right)^2\right) (V - nb) = nRT \quad (2)$$

### 1.3 Definiera entropi och entalpi

$$S = k_B \ln \Omega \quad (3)$$

Entropi kan ses som ett mått på varje energikonfigurations sannolikhet, där  $\Omega$  är antalet mikrotillstånd för ett givet makrotillstånd.

Visualisera ett system som kan anta ett set av mikrotillstånd, t.ex. luftpartiklar med hastigheter, som tillsammans ger ett makrotillstånd, t.ex. en temperatur. Vissa makrotillstånd kan fås genom fler mikrotillstånd än andra. Om alla mikrotillstånd har samma sannolikhet att förekomma, så kommer systemet gå till det makrotillstånd med flest antal mikrotillstånd.

Ett annat exempel som är något lättare att visualisera är hur många tillstånd ett ägg kan vara i efter det är krossat jämfört med innan.

$$H = U + pV \quad (4)$$

Entalpi kan enkelt beskrivas med hjälp av din egna kropp: Det är din inre energi, t.ex. värme eller de kemiskaprocesser som tillverkar värme i kroppen, plus den energi som det tar att trycka undan den volym luft som du upptar.

## 2 Introduktion till pumpen

- Värmepumpen använder ett kylämne för att pumpa värme från en reservoar till en annan

- Kompressorn tillför arbete till systemet genom att komprimera och pumpa kylämnet
- Sex stycken temperaturmätare finns i systemet. Dessa manövreras med en ratt för att ändra vilken som syns på displayen
- Två stycken tryckklockor finns på varsin sida av systemet
- En effektmätare mellan vägguttag och kompressorsladd (Denna måste stå på W och inte MAX W)

### 3 Studentens arbetsuppgifter

- Fyll upp de båda hinkarna med fyra liter vatten
- Gör en tabell och mät sex temperaturer, två tryck<sup>1</sup> och en effekt var femte minut i 40 minuter<sup>2</sup>
- Med hjälp av mätvärdena, räkna ut ‘coefficients of performance’ ( $\epsilon_v$ ,  $\epsilon$  och  $\epsilon_C$ )
- Rita processen i ett Mollierdiagram

## 4 Resultat och teori

### 4.1 Coefficients of performance

$$\epsilon_v = \frac{Q_1}{W} = \frac{c_v m_v \Delta T}{\langle P \rangle t} \sim 1 \text{ till } 2 \quad (5)$$

Där  $c_v = 4.2 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$  vattens specifika värmekapacitet,  $m_v = 4 \text{ kg}$  vattnets massa,  $\Delta T$  är vattnets uppvärmda temperatur ( $T_{\text{slut}} - T_{\text{start}}$ ),  $\langle P \rangle$  medelvärde av effekten,  $t$  är den totala tiden.

$$\epsilon = \frac{Q_2 + W}{W} = \frac{c_v m_v \Delta T + c_{\text{is}} m_{\text{is}} + \langle P \rangle t}{\langle P \rangle t} \sim 1 \text{ till } 2 \quad (6)$$

Där  $c_{\text{is}} = 333 \text{ kJ/kg}$  är smältentalpin för vatten, och  $m_{\text{is}} \approx 1 \text{ kg}$  isens massa<sup>3</sup>. Observera att  $\epsilon_v = \epsilon$  om inte systemet har några energiförluster.

<sup>1</sup>Glöm ej att lägga på en bar då tryckklockorna mäter övertryck

<sup>2</sup>Innan någon mätning kan göras så måste kompressorn stå på i 10 minuter

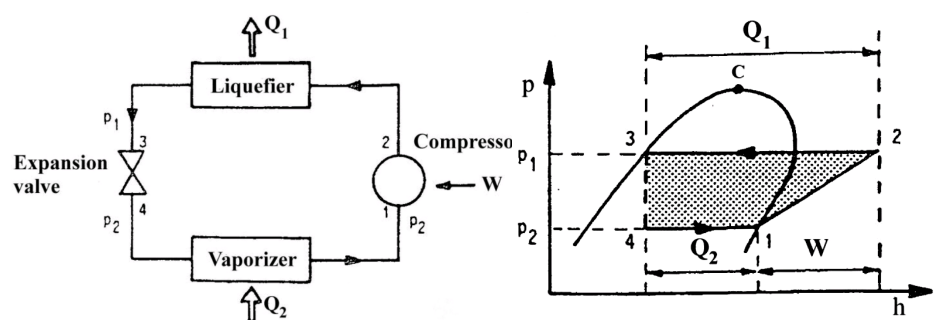
<sup>3</sup>Om studenten vispar så halveras mängden is

$$\epsilon_C = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = \frac{\langle T_1 \rangle}{\langle T_1 \rangle - \langle T_2 \rangle} \sim 7 \text{ till } 9 \quad (7)$$

Där  $T_i$ ,  $i = 1, 2$  motsvarar temperatursensorn med samma nummer.  $\epsilon_C$  beräknas för att göra en övre uppskattning på hur bra systemet kan vara. De två andra  $\epsilon$  kan sedan jämföras med denna som

$$\frac{\epsilon_v}{\epsilon_C} = \frac{\epsilon}{\epsilon_C} \sim 0.1 \text{ till } 0.3 \quad (8)$$

## 4.2 Mollierdiagram



(a) Boxdiagram över värmepumpen (b) Processen ritad i ett Mollierdiagram

Figur 1

Talen 1-4 i Figur 1a och 1b motsvarar de hörn som grafen har. Genom att känna till vilka temperatursensorer, samt tryckklockor som motsvarar vilket hörn kan processen enkelt ritas ut.

Hörn	Temperatursensor	Tryckklocka
1	$T_5$	$p_{\text{blå}}$
2	$T_6$	$p_{\text{röd}}$
3	$T_2$	$p_{\text{röd}}$
4	$T_1$	$p_{\text{blå}}$

Dessa ritas sen ut som  $\langle T_i \rangle$ ,  $\langle P_j \rangle$ , då det endast är intressant hur processen rör sig ungefär varje varv.

## 5 Felkällor

- Uppskattning av mängden is

- Osäkerheten i temperatursensorerna (de mäter bara hela °C)