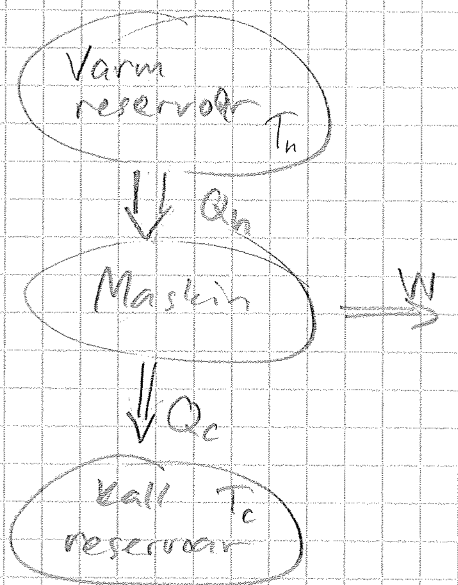
Termodynamik föreläsning 9

Värmemaskiner

Idé: Omvandla värme till arbete
Fungera i cykler: ett system som
Absorbera Q — avge W — tillbaka till urg. punkt

Problem: Entropin ökar oundvikligen
Kan bara minskas genom att avge
värme till omgivningen



Helst skulle vi vilja att $W = Q_h$ och $Q_c = 0$
åtminstone Q_c så liten som möjligt

Def: Verkningsgrad $e = \frac{W}{Q_h}$

9-2 Vi kan komma långt med 1 & 2 huvudsatsen

1 huvudsatsen: om $\Delta U = 0$ under en cykel

$\Rightarrow Q_h = Q_c + W$

$\Rightarrow e = \frac{Q_h - Q_c}{Q_h} = 1 - \frac{Q_c}{Q_h}$ "du kan inte vinna"

2 huvudsatsen $\Delta S \geq 0$ för systemet totalt

Varma reservoaren: $\Delta S_{varm} = -\frac{Q_h}{T_h}$ avger värme

Kalla reservoaren: $\Delta S_{kall} = \frac{Q_c}{T_c}$ får värme

Maskinen: $\Delta S_{maskin} = 0$ ty vi antar cykliskt förlopp

$\therefore \Delta S_{total} = -\frac{Q_h}{T_h} + \frac{Q_c}{T_c} \geq 0$

$\Rightarrow \frac{Q_c}{T_c} \geq \frac{Q_h}{T_h}$

$\Rightarrow \frac{Q_c}{Q_h} \geq \frac{T_c}{T_h}$

$\therefore$ Verkningsgraden $\boxed{e \leq 1 - \frac{T_c}{T_h}}$ "du kan inte ens gå jämnt ut"

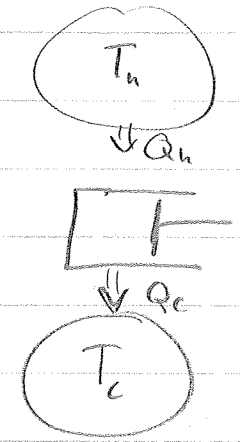
Hur uppnå max verkningsgrad $e_{max} = 1 - \frac{T_c}{T_h}$?

Försök konstruera en ideal cykel (9-3)

Antag gas som kan absorbera Q från varm reservoar

avge —"— till kall —"—

och utföra expansion-kompressionsarbete!



<u>1.</u> Vill absorbera Q_h från varma reservoaren

<u>Villkor</u>: $\Delta S_{total} = 0$!

$$\left.\begin{aligned} \Delta S_h &= -\frac{Q_h}{T_h} \\ \Delta S_{gas} &= \frac{Q_h}{T_{gas}} \end{aligned}\right\} \begin{aligned} &\Delta S_h + \Delta S_{gas} = 0 \\ &\Rightarrow T_{gas} = T_h \,! \end{aligned}$$

$T_{gas} = T_h$ <u>konstant</u> medan Q absorberas

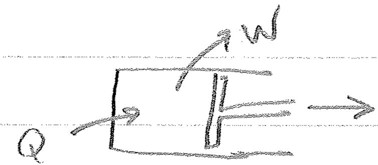
Men: $U \propto T$ (ekvipartitionssatsen)

alltså måste $\Delta U_{gas} = 0$ under detta steg

∴ $W < 0$, maskinen utför arbete.

⇒ expansion.

$$W = -\int P dV$$



∴ Steg 1: <u>isoterm expansion</u> vid $T = T_h$

Steg 2: Lämna detta tills vidare

9-4

3. Dumpa värme Q_c i kalla reservoaren

$\Delta S_{total} = \Delta S_c + \Delta S_{gas} = 0$

Samma resonemang: $T_{gas} = T_c$ i detta steg

T_{gas} = konst $\Rightarrow$ isoterm kompression.

Steg 2 måste alltså vara:

gå från T_h till T_c med $\Delta S_{total} = 0$

Men: inget värmeutbyte med någon av reservoarerna ty $T_{gas} \neq T_c, T_h$

alltså adiabatiskt.

T_{gas} minskar $\Rightarrow U$ minskar $\Rightarrow -\int P dV < 0$

$\Rightarrow$ expansion.

$\therefore$ Steg 2: Adiabatisk expansion.

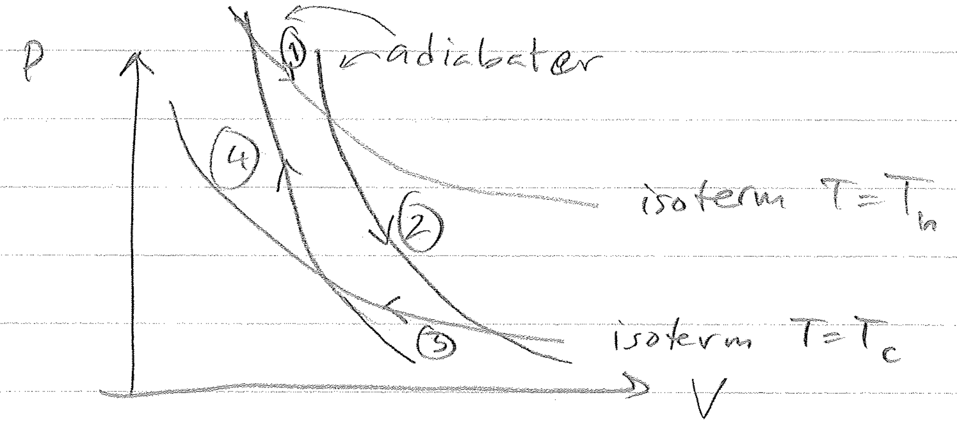
Steg 4: Åter till utgångspunkten $T_c \rightarrow T_h$

adiabatisk kompression.

Carnotcykeln

1. Isoterm expansion vid $T = T_h$
2. Adiabatisk —"— $T_h \rightarrow T_c$
3. Isoterm kompression $T = T_c$
4. Adiabatisk —"— $T_c \rightarrow T_h$

Kan rita P-V-diagram



Titta närmare på för ideal gas:

Adiabatisk expansion (kvasistatisk)

Ideal gas, adiabatisk process: $PV^\gamma = \text{konst}$
(från kap. 1:5) med $\gamma = \frac{f+2}{f} > 1$

$\Rightarrow \quad P = \frac{\text{konst}}{V^\gamma}$

Ideal gas $NkT = PV = \text{konst} \cdot V^{1-\gamma}$
T minskar då V ökar.

[Slutsatsen gäller de flesta ämnen, ej bara idala gaser
-men undantag finns, t.ex. vatten under 4°C]

Problem med Carnotcykeln:
Inget värmeutbyte utan temperaturskillnad!
(Minns def. av temperatur & termisk jämvikt)

∴ Måste ha $T_{gas} < T_h$ i steg 1
$T_{gas} > T_c$ i steg 3
$\Rightarrow$ ideal Carnotcykel omöjlig.

(9-6)

Ju mindre temperaturskillnad (närmare ideal cykel) desto längre tid tar steg 1 och 3.
(Jfr värmeledningsekv. $\frac{Q}{\Delta t} \propto \Delta T$ kap 1:7)

Praktiska avvikelser från ideal Carnotcykel

- Friktion
- Turbulens
- Temperatur- & tryckskillnader inom gasen
- Allt annat som kan medföra $\Delta S > 0$

* Hur ser vi att C-cykeln faktiskt alstrar arbete?

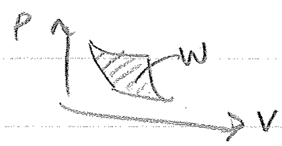
Svar 1: Lös Problem 4.5

Svar 2: Vi har redan fastställt

$$e = \frac{W}{Q_h} = 1 - \frac{T_c}{T_h} > 0.$$

Svar 3 (grafisk lösning):

$$W = -\int P dV = \text{arean innesluten i cykeln}$$



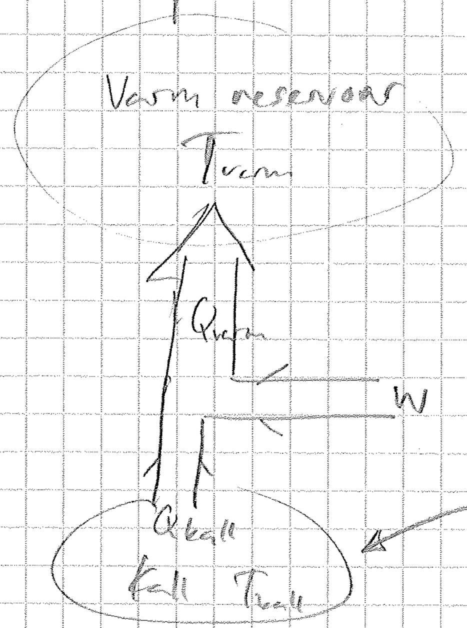
Gäller helt generellt

om inget annat arbete än kompression-expansion

Kylmaskin

9.7

Vänd på schemat för värmemaskin



vi är intresserade av att kyla denna med hjälp av W

Köldfaktorn "Coefficient of performance"

$$COP = \frac{Q_c}{W}$$

1 huvudsatsen $W = Q_{varm} - Q_{kall}$

$$\Rightarrow COP = \frac{Q_{kall}}{Q_{varm} - Q_{kall}} = \frac{1}{\frac{Q_{varm}}{Q_{kall}} - 1}$$

2 huvudsatsen $\frac{Q_{varm}}{T_{varm}} \geq \frac{Q_{kall}}{T_{kall}} \Rightarrow \frac{Q_v}{Q_k} \geq \frac{T_v}{T_k}$

$$COP \leq \frac{1}{T_v/T_k - 1} = \frac{T_k}{T_v - T_k}$$

COP kan vara ≥ 1. Betyder inget speciellt.

$\therefore$ Ju mer vi vill kyla desto sämre köldfaktor.