Kretsprocesser och värmemaskiner

Jun 23, 2026, 5 min read

#fysik #termodynamik #processer

> **Kapitel:** 19.5–19.8 · **Kurs:** F0004T **Förkunskaper:** Termodynamikens första lag, Ideala gaser, Integraler

---

1. Översikt av de fyra processerna

Process	Villkor	Karakteristik i pV-diagram	Minnesknep
Isoterm	T = konst	Hyperbel (pV = konst)	*Iso*-therm = samma *temperatur*
Isobar	p = konst	Horisontell linje	*Iso*-bar = samma *bar* (tryck)
Isokor	V = konst	Vertikal linje	*Iso*-kor = samma *volym*
Adiabatisk	$Q = 0$	Brant hyperbel (pV^γ = konst)	Inga värmeutbyten

---

2. Isoterm process (T = konstant)

2.1 Analys

Gasen expanderar (eller komprimeras) i termisk jämvikt med omgivningen — temperaturen hålls konstant.

- $\Delta U = nC_V \Delta T = 0$ (inga temperaturändringar)
- Från 1:a HS: $Q = W$
- Arbete: $W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$

> **Intuition: Isoterm**
>
> All tillförd värme omvandlas till arbete — ingen energi "stannar kvar" i gasen. $pV = nRT = \text{konst}$ ger en hyperbelkurva i pV-diagrammet.

> **Exempel: Isoterm expansion**

---

3. Isobar process (p = konstant)

3.1 Analys

Gasen expanderar eller komprimeras vid konstant tryck, t.ex. kolv med konstant vikt ovanpå.

- $W = p\Delta V = p(V_2 - V_1) = nR\Delta T$ (rektangelarea i pV-diagram)
- $Q = nC_p \Delta T$
- $\Delta U = nC_V \Delta T$

> **Intuition: Isobar**
>
> En del av den tillförda värmen går till att expandera gasen (arbete), resten till att höja temperaturen. Därför behövs C_p och inte C_V — det är mer energikrävande att värma vid konstant tryck.

---

4. Isokor process (V = konstant)

4.1 Analys

Gasen värms eller kyls i en sluten, stel behållare.

- $W = 0$ (ingen volymändring, inget arbete)
- $Q = \Delta U = nC_V \Delta T$
- Trycket ändras: $p/T = \text{konst}$

Intuition: Isokor

Eftersom ingen expansion sker behöver all tillförd värme bara höja molekylernas rörelseenergi — därav C_V.

---

5. Adiabatisk process ($Q = 0$)

5.1 Grundprincip

Definition: Adiabatisk process

En adiabatisk process utbyter **inget värme** med omgivningen — antingen pga perfekt isolering eller pga att processen sker för snabbt.

$$Q = 0 \implies \Delta U = -W$$

Konsekvenser:

Händelse	Orsak	Effekt
Expansion ($W > 0$)	Gasen gör arbete	$\Delta U < 0 \rightarrow$ temperaturen sjunker
Kompression ($W < 0$)	Arbete utförs på gasen	$\Delta U > 0 \rightarrow$ temperaturen stiger

Intuition: Diesel-antändning

En dieselmotor komprimerar luften adiabatiskt tills temperaturen är hög nog att antända bränslet — utan tändstift. Kompressionen värmer luften dramatiskt.

5.2 Poissons lagar

Poissons lagar för adiabatisk process

För en ideal gas vid adiabatisk process gäller:

$$\boxed{pV^\gamma = \text{konstant}}$$

$$TV^{\gamma-1} = \text{konstant}$$

T^\gamma p^{1-\gamma} = \text{konstant}}

där $\gamma = C_p/C_V$ är adiabatindex (beror på gastyp).

Jämförelseform (tillstånd 1 → tillstånd 2):

$$p_1V_1^\gamma = p_2V_2^\gamma, \qquad T_1V_1^{\gamma-1} = T_2V_2^{\gamma-1}$$

5.3 Arbete vid adiabatisk process

$$\boxed{W = \frac{p_1V_1 - p_2V_2}{\gamma - 1} = nC_V(T_1 - T_2)}$$

5.4 Adiabaten är brantare än isotermen

I ett pV-diagram:

- Isoterm: $p \propto V^{-1}$
- Adiabat: $p \propto V^{-\gamma}$ (brantare, eftersom $\gamma > 1$)

Intuition: Varför brantare?

Vid adiabatisk expansion kyls gasen (ingen värme tillförs). Lägre temperatur → lägre tryck vid samma volym. Kurvan faller därför snabbare än en isoterm.

---

6. Sammanfattning: formler för alla processer

Process	W	Q	ΔU
Isoterm	$nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$	$= W$	0
Isobar	$p\Delta V = nR\Delta T$	$nC_p\Delta T$	$nC_V\Delta T$
Isokor	0	$nC_V\Delta T$	$= Q$
Adiabatisk	$\frac{p_1V_1 - p_2V_2}{\gamma - 1}$	0	$nC_V\Delta T$

Checklista: Lösa termodynamikproblem >

Läsning

- 20.2 Heat Engines
- 20.6 The Carnot Cycle

Se även

- Termodynamikens första lag — $Q = \Delta U + W$ och inre energi
- Ideala gaser — ideala gaslagen, C_V, γ
- Termodynamikens andra huvudsats — värmemaskiner och Carnot-cykeln

---

Resurser

Interaktiva verktyg

- PhET — Gas Properties — visualisering av gasprocesser

Wikipedia

- Thermodynamic process
- Adiabatic process
- Isothermal process

Fördjupning

- University Physics with Modern Physics (Freedman & Young) kap 19
- Fysika upplaga 5, kap 19 (Fa5: formelblad)

Föreläsningsanteckningar

> Från föreläsning: 2025-12-10 och 2025-12-12, F0004T Föreläsare: Erik Elfgren

2025-12-10 – TERM06: Termodynamik för ideala gaser (kap 19)

19.6 Inre energi för en ideal gas

Temperaturen är ett mått på molekylernas genomsnittliga kinetiska energi: $K_{tr} = \frac{3}{2}k_B T, \quad k_B = R/N_A$

Den inre energin för en ideal gas beror **enbart på temperaturen**: $U = U(T), \quad \Delta U = nC_V \Delta T$

Konsekvens: Vid isoterm expansion (T =konst): $\Delta U = 0 \implies Q = W$.

19.7 Värmekapacitet för ideal gas

$Q = nC\Delta T$

Vid konstant volym (C_V): Gasen kan ej expandera → all tillförd värme → inre energi: $Q_V = \Delta U$

Vid konstant tryck (C_p): Gasen expanderar → värme måste räcka till BÅDE inre energi OCH arbete → $C_p > C_V$

Sambandet $C_p = C_V + R$ (härledning via 1:a HS + ideala gaslagen): $dQ_p = dU + dW = nC_V\,dT + nR\,dT = n(C_V + R)\,dT$

Adiabatindex: $\gamma = \frac{C_p}{C_V} > 1$

Gastyp	Frihetsgrader	C_V	C_p	γ
Monoatomär (He, Ne, Ar)	3	$\frac{3}{2}R$	$\frac{5}{2}R$	$\frac{5}{3} \approx 1.67$
Diatomär (N_2, O_2, H_2)	5	$\frac{5}{2}R$	$\frac{7}{2}R$	$\frac{7}{5} = 1.40$
Fleratomär (CO_2, H_2O)	6	$3R$	$4R$	$\frac{4}{3} \approx 1.33$

19.8 Adiabatiska processer

Poissons lagar: $pV^\gamma = \text{konst}, \quad TV^{\gamma-1} = \text{konst}$

Arbete: $W = \frac{p_1V_1 - p_2V_2}{\gamma-1} = nC_V(T_1 - T_2)$

Adiabaten är **brantare** än isotermen ($p \propto V^{-\gamma}$ vs $p \propto V^{-1}$, och $\gamma > 1$).

Övning 19.32 – 0.100 mol monoatomär gas, $p_1 = 10^5$ Pa, $V_1 = 2.50 \times 10^{-3}$ m³:

Process	T_2 (K)	p_2 (kPa)
Isoterm	300.7	50.0
Isobar	601.4	100
Adiabatisk	189.5	31.5

2025-12-12 – TERMO7: Andra huvudsatsen och värmemaskiner (kap 20)

20.0 Andra huvudsatsen

Entropi (oordning) ökar alltid.

20.1 Processers riktning

I verkligheten är alla processer irreversibla. I ideala situationer kan vi ha reversibla processer (nära jämvikt). I en reversibel process kan en liten systemändring byta riktning.

Irreversibla processer: Friktion, blandning av vätskor, värmeöverföring med icke-försumbar temp-skillnad.

20.2 Värmemaskiner

$$\text{Värme} \implies \text{Arbete}$$

Värmemaskiner är ofta cykliska: $\Delta U_{tot} = 0$

1:a HS: $Q_{tot} = W_{tot}$ ($Q_H > 0, Q_C = Q_L < 0$)

En del värme går alltid till spillo ($Q_L \neq 0$). Verkningsgrad: $e = \frac{W}{Q_H} = 1 + \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \left|\frac{Q_L}{Q_H}\right| < 1$

20.3 OTTO-cykeln (bensinmotorer)

Tolkning av stegen:

- $6 \to 3$: Kompression (adiabatisk)
- $3 \to 4$: Värmetillförsel (isokor): $Q_H = nC_v(T_c - T_b) > 0$
- $4 \to 5$: Expansion (adiabatisk)
- $5 \to 6$: Värmebortförsel (isokor): $Q_L = nC_v(T_a - T_d) < 0$

Verkningsgrad: $e = 1 + \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - r^{\gamma-1}$ r = kompressionsförhållande

Exempel: $r = 8, \gamma = 1.4 \implies e_{teor} = 56\%$, verkligt $\approx 35\%$ (friktion, värmeförlust, turbulens, ej ideal gas)

Diesel-cykeln

- $a \to b$: Kompression (adiabatisk)
- $b \to c$: Expansion (isobar)
- $c \to d$: Expansion (adiabatisk)
- $d \to a$: Kylning (isokor)

$r = 15 - 20$, $e_{teor} = 65\%$, $e_{verkl} = 50\%$, $e_{motor} = 40\%$

Carnot-cykeln (den perfekta värmemaskinen)

Inga irreversibla processer → upptag/avgivning av värme isotermt. I övrigt inga värmeförluster → adiabater.

Steg: isoterm ($a \to b$) → adiabat ($b \to c$) → isoterm ($c \to d$) → adiabat ($d \to a$)

Verkningsgrad: $e_{Carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$

(Härleds via att $\frac{V_b}{V_a} = \frac{V_c}{V_d}$ via Poissons lag för de adiabatiska stegen.)
