

i Institutt for fysikk

Eksamensoppgave i TFY4165 - Termisk Fysikk

Faglig kontakt under eksamen: Martin Fonnum Jakobsen

Tlf.: 480 50 911

Eksamensdato: 19. desember 2018

Eksamenstid (fra-til): 09.00-13.00

Hjelpemiddelkode/Tillatte hjelpemidler: C.

Tillatte formelsamlinger:

- Karl Rottmann - matematisk formelsamling.
- Carl Angell, Bjørn Ebbe Lian - Fysiske størrelser og enheter.
- Utdelt formelark
- En digital versjon av formelarket finner du i lenken "formelark"

Godkjente kalkulatorer:

- Citizen SR-270X
- Citizen SR-270X College
- Casio fx-82ES PLUS
- Casio fx-82EX
- Hewlett Packard HP30S

Annen informasjon:

45 flervalgsoppgaver med lik vekt. Kun ett svar er korrekt på hver oppgave.

2 poeng for riktig svar. 0 poeng for feil svar eller intet svar.

Merk! Studenter finner sensur i Studentweb. Har du spørsmål om din sensur må du kontakte instituttet ditt. Eksamenskontoret vil ikke kunne svare på slike spørsmål.

- 1** Hva er Joule-Thomson koeffisienten til 2 mol ideell gass med volum $V = 1 \text{ m}^3$, trykk $p = 1 \text{ atm}$, og temperatur $T = 300 \text{ K}$?

Oppgitt:

$$\mu_{JT} = -\frac{1}{C_p} \left(V + p \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T \right)$$

$$C_p = \frac{5}{2} nR$$

Velg ett alternativ

- $-8.13 \cdot 10^{20} \text{ K/Pa}$
- $-7.48 \cdot 10^{20} \text{ K/Pa}$
- $-9.33 \cdot 10^{20} \text{ K/Pa}$
- $8.17 \cdot 10^{20} \text{ K/Pa}$
- 0 K/Pa

Maks poeng: 1

- 2** Hvilke av variablene U, S, V, N, p, μ og T er ekstensive og hvilke er intensive?

Velg ett alternativ

- Variablene U, S, V, T er ekstensive, resten er intensive
- Variablene p, T, V, N er ekstensive, resten er intensive
- Variablene U, S, V, N er ekstensive, resten er intensive
- Variablene U, μ, V, T er ekstensive, resten er intensive
- Variablene μ, S, V, T er ekstensive, resten er intensive

Maks poeng: 1

3 Hva er den korrekte definisjonen av varme?

Velg ett alternativ

- Varme er energi som krysser grenseflata mellom system og omgivelser på grunn av en temperaturforskjell.
- Varme er all energi som krysser grenseflata mellom system og omgivelser.
- Varme er all energi som krysser grenseflata mellom system og omgivelser som ikke skyldes temperaturforskjeller.
- Varme er et fluid som kan beskrives med en tilstandsligning.
- Varme er et mål på gasspartiklenes kinetiske og potensielle energi.

Maks poeng: 1

4 Under finner du 5 påstander om reversible prosesser. Hvilken påstand er korrekt?

Velg ett alternativ

- Alle kvasistatiske prosesser er reversible.
- En prosess kan bare være reversibel hvis prosessen er kvasistatisk og dissipative effekter er fraværende.
- En prosess er reversibel hvis systemet, men ikke omgivelsene kan bringes tilbake til starttilstanden.
- En prosess P går fra tilstanden (p_1, V_1, T_1) til tilstanden (p_2, V_2, T_2) . Hvis P er irreversibel er alltid arbeidet utført langs P større enn hvis P er reversibel.
- En prosess er reversibel hvis omgivelsene, men ikke systemet kan bringes tilbake til starttilstanden.

Maks poeng: 1

5 Beregn C_p for en hard-kule gass med tilstandsligning $p = \frac{NkT}{V-Nb}$. Anta at $C_V = \frac{3}{2}Nk$

Velg ett alternativ

- $\frac{1}{2}Nk$
- Nk
- $\frac{3}{2}Nk$
- $\frac{5}{2}Nk$
- $\frac{7}{2}Nk$

Maks poeng: 1

- 6 Se på en reversibel adiabatisk ekspansjon med hard-kule gass som arbeidssubstans. Anta at starttilstanden er spesifisert ved variablene (p_1, V_1, T_1) og at slutttilstanden er spesifisert ved variablene (p_2, V_2, T_2) . Hvis vi bruker tilstandsligningen $p = \frac{NkT}{V-Nb}$ kan vi vise at en adiabat oppfyller ligningen $p(V - Nb)^\gamma = \text{konstant}$.

Beregn endringen i gassens indre energi ΔU , når systemet går fra starttilstanden (p_1, V_1, T_1) til slutttilstanden (p_2, V_2, T_2) .

Velg ett alternativ

- $\Delta U = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{1-\gamma}$
- $\Delta U = \frac{p_1(V_1 - Nb) - p_2(V_2 - Nb)}{1-\gamma}$
- $\Delta U = \frac{p_2(V_2 - Nb) - p_1(V_1 - Nb)}{1-\gamma}$
- $\Delta U = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{1-\gamma}$
- $\Delta U = 0$

Maks poeng: 1

- 7 Anta at du har en funksjon $\alpha = \alpha(x, y)$ og du ønsker å bytte ut variabelen y med en ny, mer hensiktsmessig, variabel $v = \left(\frac{\partial \alpha}{\partial y}\right)_x$. Etter at du har brukt en Legendre transformasjon får du en ny funksjon $\beta = \beta(x, v)$. Hvordan så Legendre transformasjonen du brukte ut?

Velg ett alternativ

- $\beta(x, v) = \alpha(x, y) - vy$
- $\beta(x, v) = \alpha(x, y) + vy$
- $\beta(x, v) = \alpha(x, y) + vx$
- $\beta(x, v) = \alpha(x, y) - vx$
- $\beta(x, v) = \alpha(x, y) - xy$

Maks poeng: 1

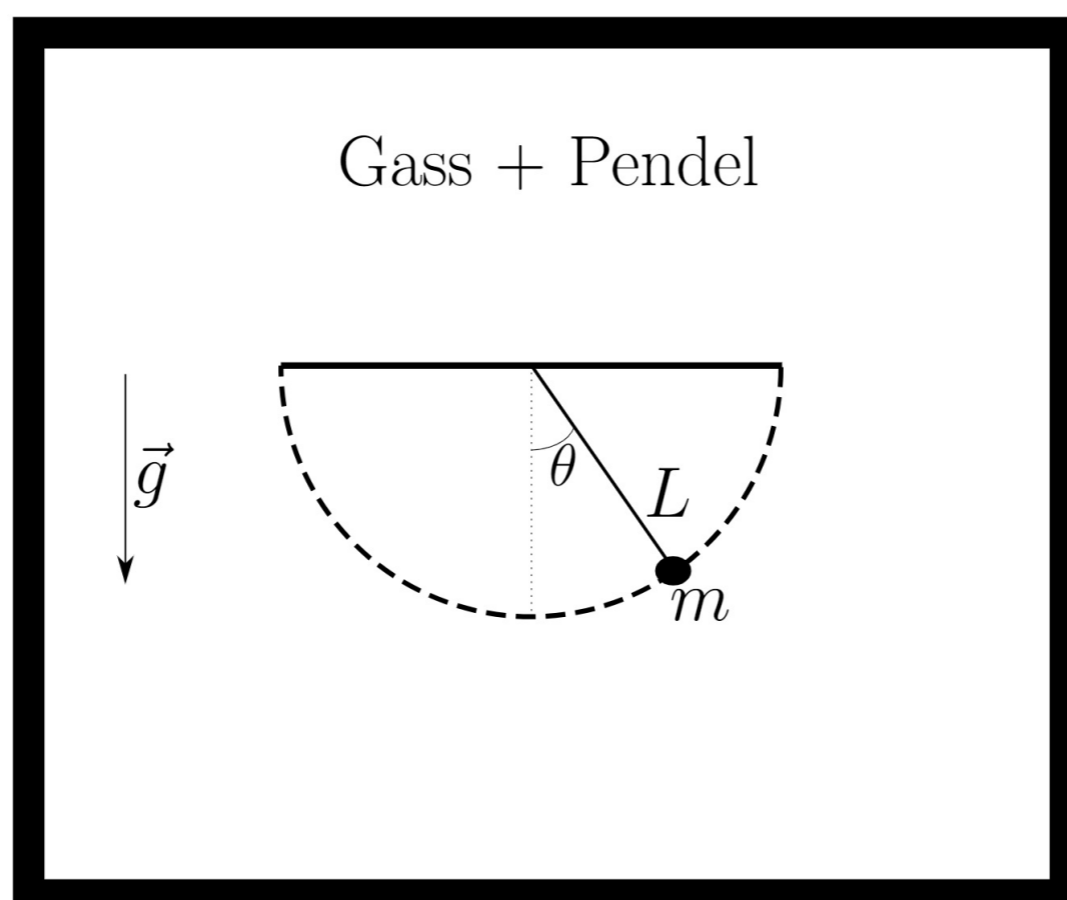
- 8 Hva er varmekapasiteten C_V til en endimensjonal harmonisk oscillator? Anta at temperaturen er så stor at kvantemekanikk ikke dominerer fysikken slik at du kan bruke ekvipartisjonsprinsippet.

Velg ett alternativ

- $C_v = \frac{1}{2}k$
- $C_v = k$
- $C_v = \frac{3}{2}k$
- $C_v = 2k$
- $C_v = \frac{5}{2}k$

Maks poeng: 1

9



I denne oppgaven skal vi se på en modell for en dempet pendel som svinger i et tyngdefelt med tyngdeakselerasjon \vec{g} . Anta at pendelen har masse m og lengde L og at den er termisk isolert. Anta videre at pendelen befinner seg i en beholder som er fylt med n mol ideell gass med molar varmekapasitet $c_v = \text{konstant}$. Beholderen, som inneholder gassen og pendelen, er isolert fra omgivelsene.

Ved begynnelsen av eksperimentet holder du pendelen i ro ved en *veldig liten* vinkel $\theta = \theta_0$. Deretter slipper du pendelen (slik at starthastigheten fortsatt er null), slik at den vekselvirker med gassen i beholderen. Etter en stund stopper pendelen i posisjonen $\theta = 0$. Hva er temperaturendringen ΔT til gassen i beholderen som følge av pendelens bevegelse?

Systemet er skissert i figuren.

Tips: Anta at systemet du regner på består både av gassen og pendelen, slik at systemet er termisk isolert fra omgivelsene og bruk 1. lov. Anta at det kun blir utført arbeid av tyngdekraften.

Velg ett alternativ

- $\Delta T = \frac{mgL\theta_0^2}{3nc_v}$
- $\Delta T = \frac{mgL\theta_0^2}{nc_v}$
- $\Delta T = \frac{mgL\theta_0^2}{2nc_v}$
- $\Delta T = \frac{mgL\theta_0^2}{4nc_v}$
- $\Delta T = \frac{3mgL\theta_0^2}{2nc_v}$

Maks poeng: 1

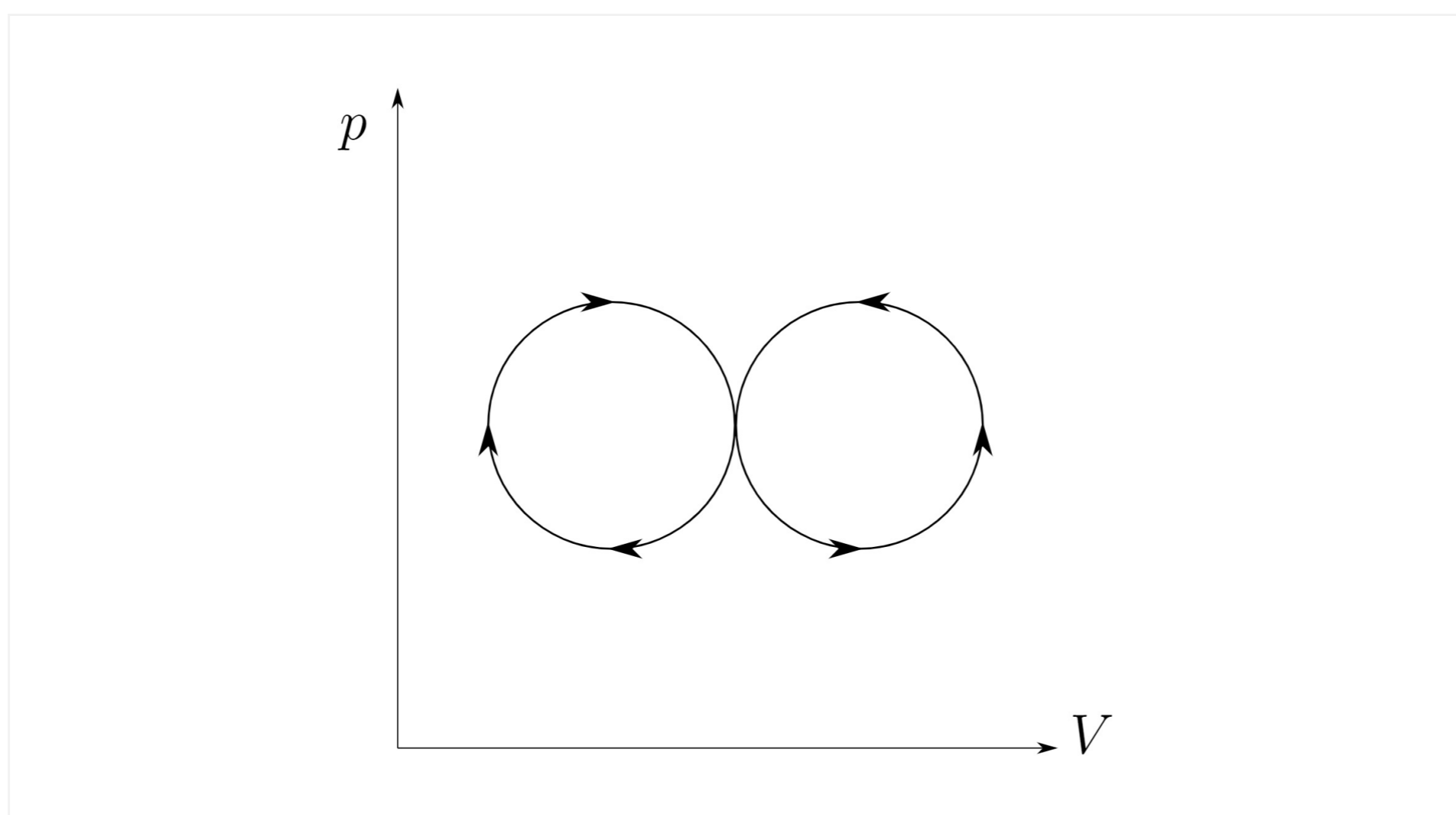
10 Hva er den korrekte **mikroskopiske** tolkningen av temperatur?

Velg ett alternativ

- Ved store temperaturer er et kvantemekanisk system alltid i grunntilstanden.
- Temperaturforskjeller fører til at varme blir overført fra varme områder til kalde områder.
- Temperatur har ingen mikroskopisk tolkning
- Temperatur er proporsjonal med gassmolekylenes gjennomsnittlige kinetiske energi.
- Temperatur er proporsjonal med gassens partikkeltetthet

Maks poeng: 1

11



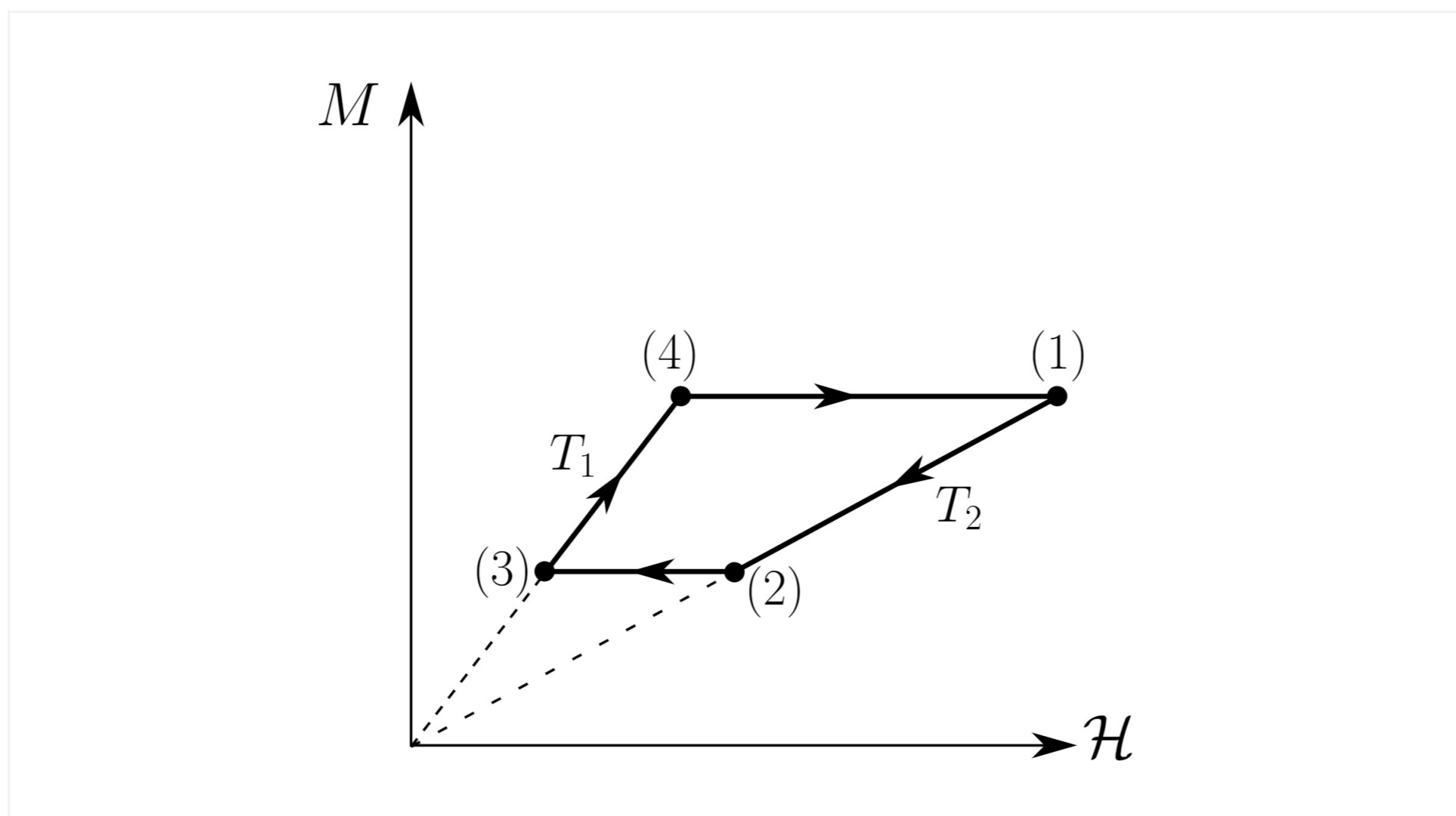
I figuren finner du en tenkt reversibel syklisk prosess i et (p, V) - diagram. Dersom du antar at de to sirkelene har samme radius R , hva er det totale arbeidet W utført per syklus?

Velg ett alternativ

- $W = 0$
- $W = 2\pi R^2$
- $W = 4\pi R^2$
- $W = 4\pi R$
- $W = \frac{4}{3}\pi R^3$

Maks poeng: 1

12



I denne oppgaven skal vi se på en Carnotmaskin hvor vi skal bruke en ideell magnet som arbeidssubstans. Magneten er beskrevet ved tre tilstandsvariabler: Magnetisering M , ytre magnetfelt \mathcal{H} , og temperatur T . Tilstandsvariablene er knyttet sammen via tilstandsligningen $M = C \frac{\mathcal{H}}{T}$, hvor C er en konstant.

Carnotmaskinen består som vanlig av 4 steg, se figuren:

- (1) \rightarrow (2): Isoterm med temperatur T_2
- (2) \rightarrow (3): Adiabat med $Q_{23} = 0$
- (3) \rightarrow (4): Isoterm med temperatur $T_1 < T_2$
- (4) \rightarrow (1): Adiabat med $Q_{41} = 0$

For et slikt system oppgis det at langs en isoterm er $M = \text{konstant} \cdot \mathcal{H}$, mens langs en adiabat er $\frac{\mathcal{H}}{T} = \text{konstant}$. Videre kan du anta at den indre energien er uavhengig av magnetiseringen. Dvs at den indre energien kun er en funksjon av temperatur, $U = U(T)$.

Når systemet er i tilstand (1) er magnetiseringen $M = M_1$, og det ytre feltet $\mathcal{H} = \mathcal{H}_1$. Tilsvarende notasjon gjelder også for tilstandene (2), (3), og (4).

Hva er maskinens virkningsgrad $\eta = \frac{W}{Q_{\text{tilført}}}$?

Velg ett alternativ

- $\eta = \left(1 - \frac{T_1}{T_2} \frac{M_2}{M_1}\right)$
- $\eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \frac{M_2}{M_1}\right)$
- $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$
- $\eta = \left(1 - \frac{T_1}{T_2} \frac{M_1}{M_2}\right)$
- $\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$

Maks poeng: 1

- 13** Anta at en tenkt maskin tar inn en varme $Q_2 = 325 \text{ kJ}$ fra et varmereservoar med temperatur $T_2 = 1000 \text{ K}$, og produserer et arbeid $W = 170 \text{ kJ}$ per syklus. Den resterende varmen Q_1 avgis til et varmereservoar med temperatur $T_1 = 400 \text{ K}$.

Er det mulig å konstruere en slik maskin? Hvis det er mulig, vil denne maskinen være reversibel eller irreversibel?

Velg ett alternativ

- Nei det er ikke mulig.
- Ja det er mulig. Denne maskinen er reversibel.
- Ja det er mulig. Denne maskinen er irreversibel.
- Maskinen er mulig, men vi kan ikke bestemme om den er reversibel eller irreversibel.
- Da vi ikke kjenner tilstandsligningen kan vi ikke si noe som helst om denne maskinen.

Maks poeng: 1

- 14** Formuleringene under dreier seg om termodynamikkens 2. lov. Hvilken av formuleringene er korrekt?

Merk: Prosess betyr i denne sammenheng en kurve i f.eks et (p, V) -diagram som ikke er lukket. Dvs at systemets starttilstand er forskjellig fra sluttstanden.

Velg ett alternativ

- Termodynamikkens 2. lov handler om energibevarelse.
- Termodynamikkens 2. lov utelukker eksistensen av prosesser hvor mengden tilført varme er lik mengden utført arbeid.
- Termodynamikkens 2. lov utelukker eksistensen av prosesser hvor varme transporteres fra et kaldt reservoar til et varmere reservoar.
- Termodynamikkens 2. lov garanterer at entropien i en reversibel varmeisolerert prosess må øke.
- Termodynamikkens 2. lov garanterer at entropien i en irreversibel varmeisolerert prosess må øke.

Maks poeng: 1

- 15 Anta at en gass, har en Gibbs fri energi på formen
 $G = NkT \ln(p) + A + Bp + \frac{1}{2}Cp^2 + \frac{1}{3}Dp^3$.

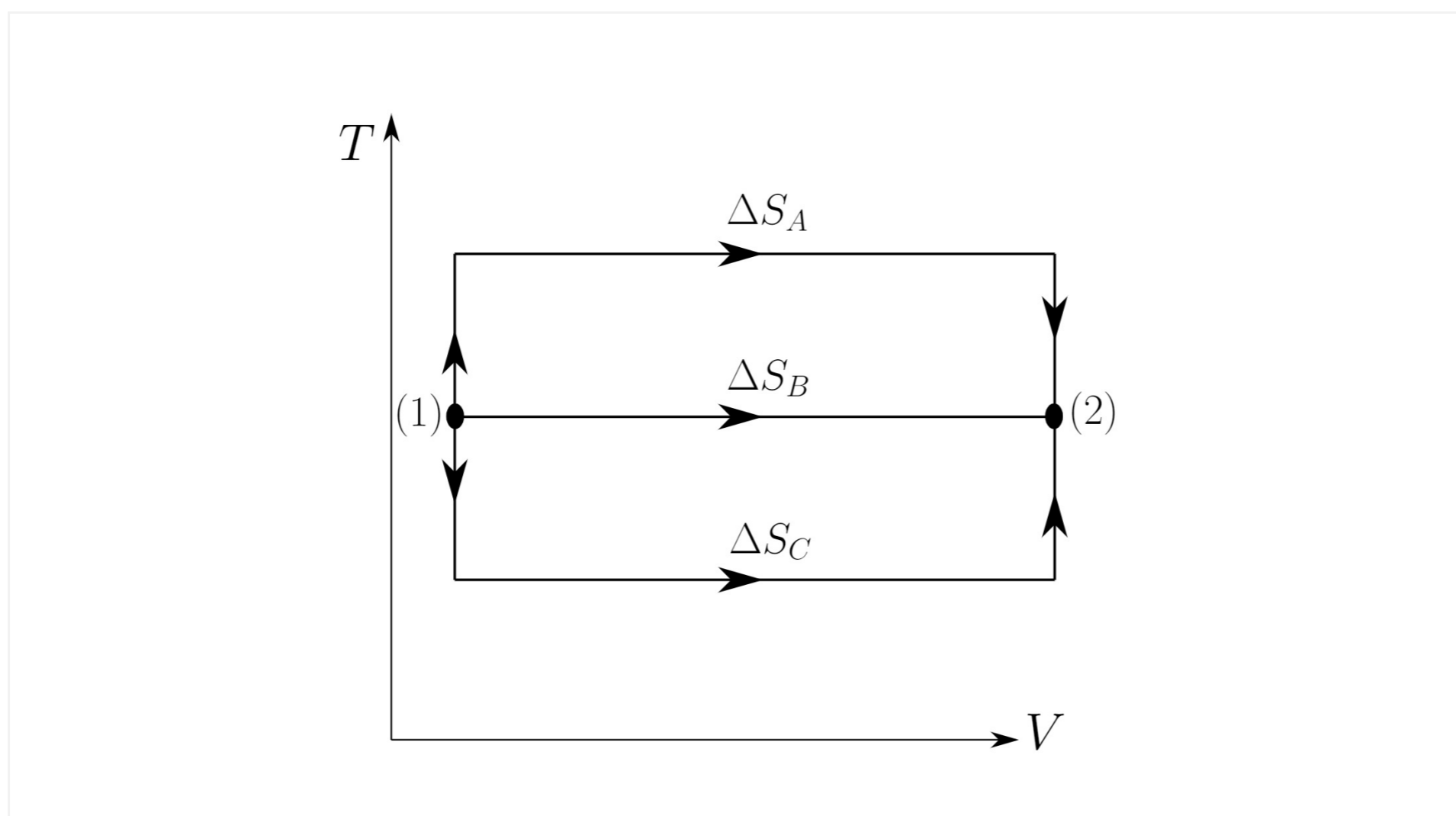
Her er A , B , C og D konstanter. Hva er tilstandsligningen for denne gassen?

Velg ett alternativ

- $V = \frac{NkT}{p} + B + Cp + Dp^2$
- $V = \frac{NkT}{p} + Dp^2$
- $V = \frac{NkT}{p}$
- 0
- $V = \frac{NkT}{p} + B + Dp + Cp^2$

Maks poeng: 1

16



I denne oppgaven skal vi se på entropiendringer ΔS i et system som går fra en starttilstand (1) til en slutttilstand (2) i et (T, V) -diagram. Vi skal se på tre veier A , B og C som vist i figuren. Hvilken av påstandene under er korrekt?

Notasjon:

ΔS_A : entropiendringen fra (1) til (2) langs veien A

ΔS_B : entropiendringen fra (1) til (2) langs veien B

ΔS_C : entropiendringen fra (1) til (2) langs veien C

Velg ett alternativ

- $\Delta S_A > \Delta S_B > \Delta S_C$
- $\Delta S_A < \Delta S_B < \Delta S_C$
- $\Delta S_A = \Delta S_B = \Delta S_C$
- $\Delta S_A > \Delta S_B = \Delta S_C$
- $\Delta S_A = \Delta S_B < \Delta S_C$

17 Hvilke(n) av følgende entropiendringer er størst for en gitt mengde etanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$?

- $\Delta S_{f \rightarrow v}$: Entropiendringen når etanol (som fast stoff) smeltes.
- $\Delta S_{v \rightarrow g}$: Entropiendringen når etanol (som væske) fordampes.
- $\Delta S_{f \rightarrow g}$: Entropiendringen når etanol (som fast stoff) sublimeres.

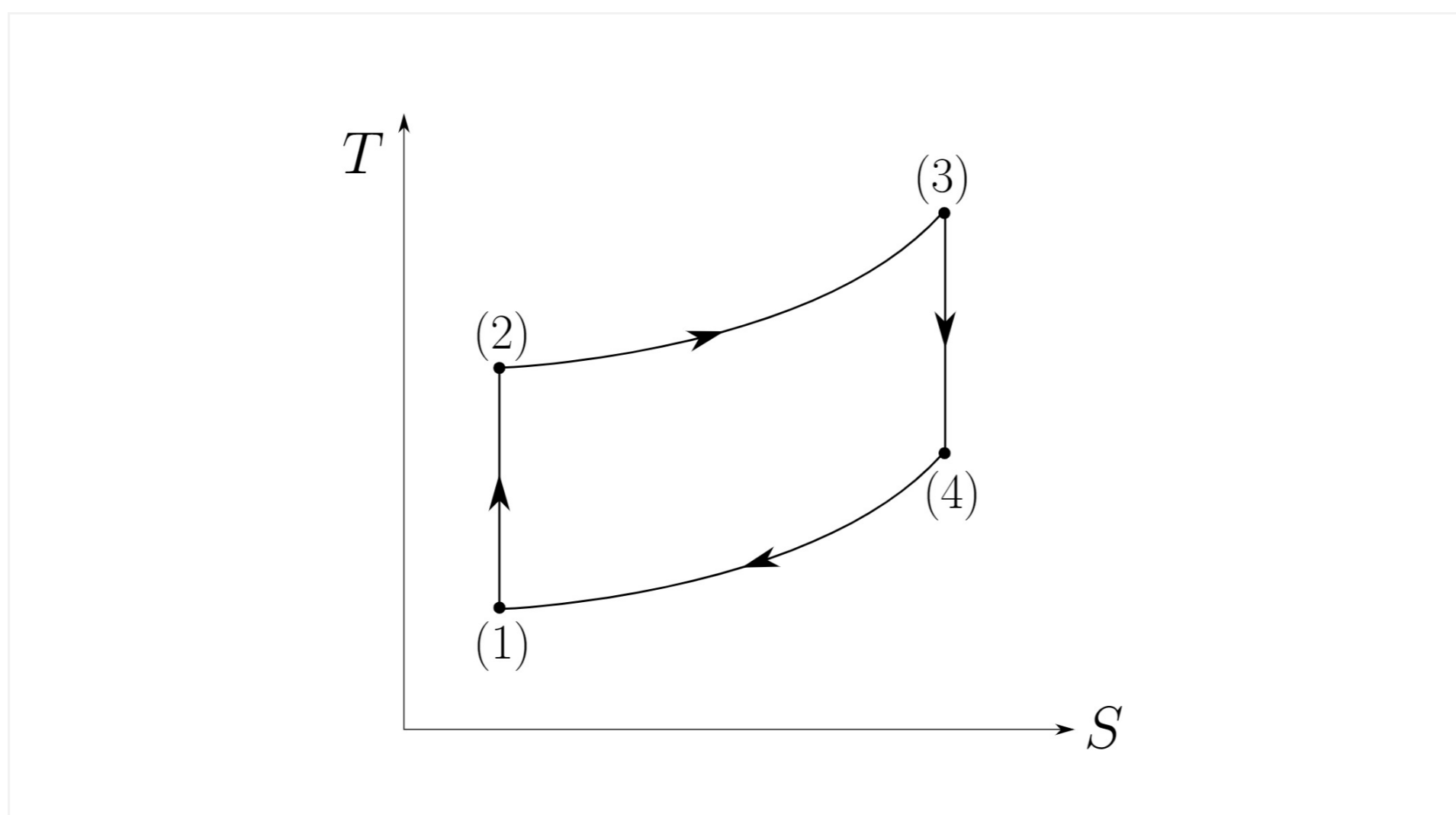
Hint: Etanol utvider seg under smelting.

Velg ett alternativ

- $\Delta S_{v \rightarrow g}$
- $\Delta S_{f \rightarrow v} = \Delta S_{f \rightarrow g}$
- $\Delta S_{f \rightarrow g}$
- $\Delta S_{f \rightarrow v}$
- $\Delta S_{f \rightarrow v} = \Delta S_{f \rightarrow g} = \Delta S_{v \rightarrow g}$

Maks poeng: 1

18



Figuren viser en kretsprosess i et (T, S) -diagram som består av fire steg:

- $(1) \rightarrow (2)$: Adiabat hvor temperaturen øker fra T_1 til T_2
- $(2) \rightarrow (3)$: Isokor hvor temperaturen øker fra T_2 til T_3
- $(3) \rightarrow (4)$: Adiabat hvor temperaturen minker fra T_3 til T_4
- $(4) \rightarrow (1)$: Isokor hvor temperaturen minker fra T_4 til T_1

Anta at $T_1 < T_4 < T_2 < T_3$, varmekapasiteten C_V er konstant, og at arbeidssubstansen er en ideell gass.

Hva er virkningsgraden η ?

Velg ett alternativ

- $\eta = 1 + \frac{T_1 - T_4}{T_3 - T_2}$
- $\eta = 1 - \frac{T_1 - T_4}{T_3 - T_2}$
- $\eta = 1 + \frac{T_1 + T_4}{T_3 + T_2}$
- $\eta = 1 - \frac{T_1 + T_4}{T_3 + T_2}$
- $\eta = 0$

Maks poeng: 1

- 19 Beregn entropiendringen ΔS i en reversibel isobar ekspansjon fra et startvolum V_1 til et sluttvolum $V_2 > V_1$. Anta ideell gass med tilstandsligning $pV = nRT$ og konstante varmekapasiteter C_p og C_V .

Husk at for en ideell gass holder relasjonen $C_p - C_V = nR$.

Velg ett alternativ

- $\Delta S = C_V \ln \frac{V_1}{V_2}$
- $\Delta S = nR \ln \frac{V_1}{V_2}$
- $\Delta S = nR \ln \frac{V_2}{V_1}$
- $\Delta S = C_p \ln \frac{V_1}{V_2}$
- $\Delta S = C_p \ln \frac{V_2}{V_1}$

Maks poeng: 1

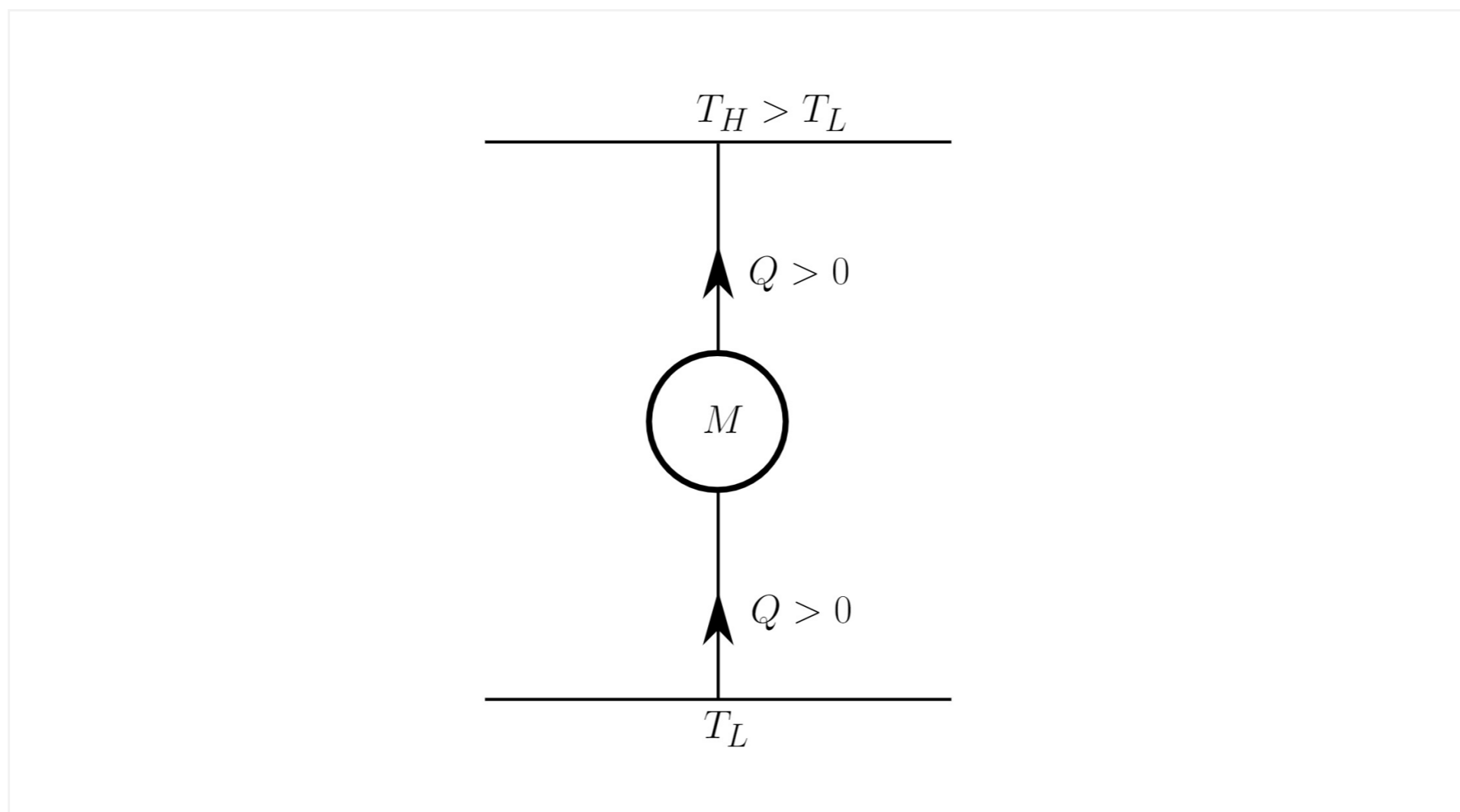
- 20 En ideell gass (med n mol partikler) undergår en irreversibel prosess slik at tilstandsvariablene endres fra (p_1, V_1, T_1) til (p_2, V_2, T_1) . Beregn entropiendringen ΔS for denne prosessen.

Du kan anta at $\{p_1, p_2, V_1, V_2, T_1\}$ er kjente størrelser og at tilstandene (p_1, V_1, T_1) og (p_2, V_2, T_1) er likevektstilstander.

Velg ett alternativ

- $\Delta S = 0$
- $\Delta S = C_p \ln \frac{V_2}{V_1}$
- $\Delta S = C_V \ln \frac{V_2}{V_1}$
- $\Delta S = nR \ln \frac{V_1}{V_2}$
- $\Delta S = nR \ln \frac{V_2}{V_1}$

21



Figuren viser en prosess hvor en syklisk maskin M overfører en varmemengde $Q > 0$ fra et kaldt reservoir med temperatur T_L til et varmt reservoir med temperatur $T_H > T_L$.

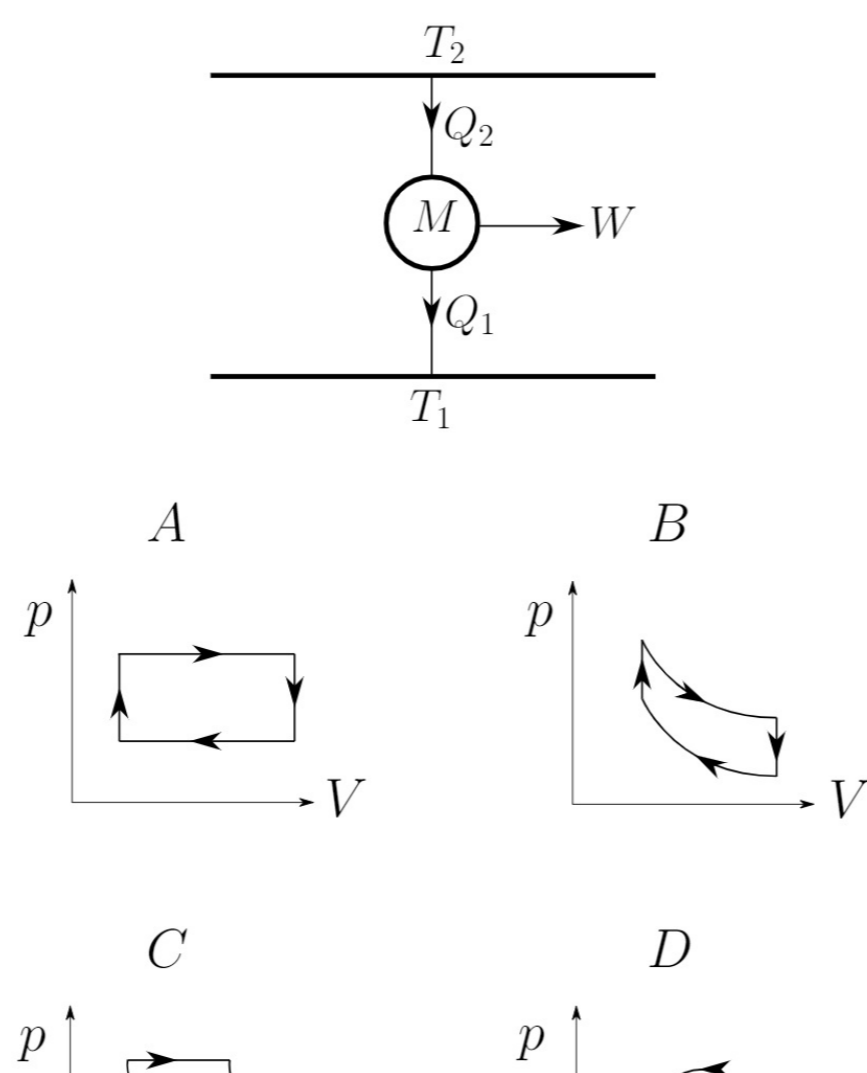
Hvilket av følgende utsagn er korrekt for denne prosessen?

Velg ett alternativ

- Prosessen er umulig fordi den totale entropiendringen er null.
- Prosessen er umulig fordi energien ikke er bevart.
- Prosessen er mulig fordi energien er bevart og den totale entropiendringen er positiv.
- Prosessen er umulig fordi den totale entropiendringen er negativ.
- Prosessen er mulig dersom maskinen foretar infinitesimale endringer slik at prosessen er reversibel.

Maks poeng: 1

22





Figuren viser en reversibel maskin M som opererer mellom to (og bare to) varmereservoar. Maskinen tar ut en varme Q_2 fra reservoaret med temperatur T_2 for å utføre et arbeid W . Resten av systemets energi Q_1 blir sendt til reservoaret med temperatur $T_1 < T_2$ i form av varme.

I figurene A , B , C og D er det tegnet fire reversible kretsprosesser. Hvilken av kretsprosessene kan brukes i maskinen M beskrevet ovenfor?

Merk:

- I kretsprosess A brukes 2 isobarer og 2 isokorer
- I kretsprosess B brukes 2 isotermer og 2 isokorer
- I kretsprosess C brukes 2 isobarer og 2 isotermer
- I kretsprosess D brukes en sirkelprosess med radius R

Velg ett alternativ

- A
- B
- C
- D
- Ingen av kretsprosessene ovenfor kan benyttes

Maks poeng: 1

23 Den termodynamiske identitet for et lukket system kan skrives på formen $dH = TdS + Vdp$. Hvilken av følgende Maxwellrelasjoner er en konsekvens av denne identiteten?

Velg ett alternativ

- $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V$
- $\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_S = -\left(\frac{\partial p}{\partial S}\right)_V$
- $\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_S = \left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_p$
- $-\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$
- $\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_S = \left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_p$

Maks poeng: 1

24 I denne oppgaven skal vi se på en enkel kvantemekanisk modell for en magnet. Anta at vi har tre magnetiske dipoler plassert i et koordinatsystem i posisjonene $(-1, 0)$, $(0, 0)$ og $(1, 0)$. Anta at hver enkelt dipol kan enten peke opp (parallelt med y-aksen) eller ned (antiparallelt med y-aksen).

Assosiert med hver enkelt dipol finnes det et tall som vi kaller s_i hvor $i = \{1, 2, 3\}$ nummerer dipolen. Anta at hvis dipol nummer i peker opp så er $s_i = +1/2$ og at hvis dipol nummer i peker ned så er $s_i = -1/2$.

Energifunksjonen til dette systemet er

$$E(s_1, s_2, s_3) = J(s_1 s_2 + s_2 s_3),$$

med $J = \text{konstant} > 0$.

Dvs energien til en mikrotilstand hvor alle dipolene peker opp er lik

$$E = J(1/2 \cdot 1/2 + 1/2 \cdot 1/2) = J/2.$$

Anta at systemet går fra en tilstand med energi $E = 0$ til en tilstand med energi $E = J/2$, hva er den tilhørende entropiendringen $\Delta S = S(E = J/2) - S(E = 0)$?

Hint: Her må du telle antall mikrotilstander med $E = 0$, og antall mikrotilstander med $E = J/2$. Når dette er gjort bruk den mikroskopiske definisjonen av entropi $S = k \ln W$.

Velg ett alternativ

- $\Delta S = 0$
- $\Delta S = k \ln 4$
- $\Delta S = -k \ln 2$
- $\Delta S = k \ln 2$
- $\Delta S = -k \ln 4$

Maks poeng: 1

25

Et mangepartikkelsystem har en fartsfordeling $f(v) = \begin{cases} 0 & v \leq 0 \\ Av^{\frac{b}{v}} & 0 \leq v \leq 10 \\ 0 & v \geq 10 \end{cases}$.

Anta at A er en konstant som sørger for at fordelingen er normert og at $b = 1 \text{ m/s}$.

Hva er den mest sannsynlige farten i systemet?

Tips: Det er kanskje enklere å jobbe med størrelsen $\ln f(v)$

Velg ett alternativ

- $v = 3e$
- $v = e/2$
- $v = e$
- $v = 2e$
- $v = e/3$

$e = 2.71828 \dots$ er Eulers tall.

Maks poeng: 1

26

Denne oppgaven dreier seg om hvordan Maxwells fartsfordeling $f(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}}$

oppfører seg for veldig små v .

La P være sannsynligheten for å måle en fart på intervallet $(0, v_0)$ hvor $v_0 \ll \sqrt{\frac{2kT}{m}}$ er en veldig liten fart. Finn P som funksjon av v_0 .

Tips: Det kan lønne seg å rekkeutvikle eksponentialfunksjonen.

Velg ett alternativ

- $P = 2\pi \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} v_0^3$
- $P = \frac{4\pi}{9} \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} v_0^3$
- $P = \frac{2\pi}{3} \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} v_0^3$
- $P = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} v_0^3$
- $P = \frac{4\pi}{3} \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} v_0^3$

Maks poeng: 1

- 27 Anta at en kvantemekanisk partikkel kun kan ha to tillatte energier, som vi kaller $E_1 = -\Delta/2$ og $E_2 = \Delta/2$. Her er $\Delta > 0$ en positiv konstant. Beregn den indre energien U til den kvantemekaniske partikkelen.

Tips: Beregn først partisjonsfunksjonen Z og bruk deretter at $U = -\frac{d \ln(Z)}{d\beta}$ hvor $\beta = \frac{1}{kT}$.

Opgitt:

- $\sinh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$
- $\cosh(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$
- $\tanh(x) = \frac{\sinh(x)}{\cosh(x)}$

Velg ett alternativ

- $U = \frac{\Delta}{2} \tanh\left(\frac{\beta\Delta}{2}\right)$
- $U = -\frac{\Delta}{2} \tanh\left(\frac{\beta\Delta}{2}\right)$
- $U = -\frac{\Delta}{2} \sinh\left(\frac{\beta\Delta}{2}\right)$
- $U = \frac{\Delta}{2} \sinh\left(\frac{\beta\Delta}{2}\right)$
- $U = -\frac{\Delta}{2} \cosh\left(\frac{\beta\Delta}{2}\right)$

Maks poeng: 1

- 28 I denne oppgaven skal vi se på en type magnet som kalles ferromagnet. Hovedforskjellen mellom en

paramagnet (som vi så på i forelesning) og en ferromagnet er at i ferromagneten er det sterke vekselvirkninger mellom de magnetiske dipolene. Dette fører til at de magnetiske dipolene peker i samme retning selv i null ytre felt. Dette gjør at ferromagneten har magnetiske egenskaper ved romtemperatur og uten et ytre felt.

Anta at vi plasserer ferromagneten i et konstant ytre uniformt magnetisk felt B_0 og holder magnetens temperatur konstant lik $T_0 \gg 0$. Det som da skjer er at magnetens magnetisering m vil begynne å endre på seg inntil systemet oppnår likevekt.

Det oppgis at magnetens Gibbs fri energi som funksjon av dens magnetisering er

$$G = -\frac{J_0 m^2}{2} - B_0 m + \frac{kT_0}{2} \left[(1+m) \ln(1+m) + (1-m) \ln(1-m) \right] - kT_0 \ln 2$$

Her er $J_0 > 0$ en positiv konstant som angir hvor sterk vekselvirkningen mellom dipolene i magneten er.

Finn sammenhengen mellom m , B_0 og T_0 når ferromagneten er i likevekt med sine omgivelser.

Oppgitt: $\frac{1}{2} \ln\left(\frac{1+x}{1-x}\right) = \tanh^{-1}(x)$

Tips: Hva er likevektskriteriet for Gibbs fri energi?

Velg ett alternativ

- $m = \tanh\left(\frac{-kT_0}{J_0 m + B_0}\right)$
- $m = \tanh\left(\frac{kT_0}{J_0 m - B_0}\right)$
- $m = \tanh\left(\frac{kT_0}{J_0 m + B_0}\right)$
- $m = \tanh\left(\frac{J_0 m + B_0}{kT_0}\right)$
- $m = \tanh\left(\frac{J_0 m - B_0}{kT_0}\right)$

Maks poeng: 1

29 I denne oppgaven skal vi se på adiabatisk magnetisk kjøling. Magneten vi skal se på har tilstandsligningen $M = N\mu(1 - e^{-\mu\beta H})$.

Her er M magnetens magnetisering, N er antall magnetiske dipolmomenter, μ er styrken til en individuell dipol, H er det ytre magnetfeltet, og $\beta = \frac{1}{kT}$.

Hva er sammenhengen mellom magnetens temperatur T og det ytre feltet H i en adiabatisk prosess? Med andre ord bestem $T = T(H)$ langs en adiabat.

Oppgitt:

- I forelesning utledet vi adiabatligningen $dT = \frac{\mu_0 T}{C_H} \left(\frac{\partial M}{\partial T} \right)_H dH$
- $C_H = \frac{\mu_0 N H^2 \mu^2}{kT^2} e^{-\frac{\mu H}{kT}}$

Velg ett alternativ

- $T = \text{konstant} \cdot H$
- $T = \text{konstant} \cdot e^{\frac{-\mu H}{kT}}$
- $T = \text{konstant} \cdot e^{\frac{\mu H}{kT}}$
- $T = \text{konstant} \cdot e^{\frac{-\mu H}{2kT}}$
- $T = \text{konstant} \cdot e^{\frac{\mu H}{2kT}}$

Maks poeng: 1

- 30 I denne oppgaven skal vi prøve å finne et uttrykk for entropien til et sort hull med masse M . Anta at det sorte hullet verken roterer, beveger seg, eller har ladning. Når dette er tilfellet er temperaturen til det sorte hullet $T = \frac{\hbar c^3}{8\pi G M k}$ og dets indre energi er $U = M c^2$. Her er \hbar , c , π , G og k diverse konstanter.

Hva er entropien S til det sorte hullet?Tips: Bruk den termodynamiske identitet og sett $dW = 0$.

Velg ett alternativ

- $S = 0$
- $S = \text{konstant} - \frac{8\pi G k}{\hbar c^5} U$
- $S = \text{konstant} + \frac{8\pi G k}{\hbar c^5} U^2$
- $S = \text{konstant} - \frac{4\pi G k}{\hbar c^5} U$
- $S = \text{konstant} + \frac{4\pi G k}{\hbar c^5} U^2$

Maks poeng: 1

- 31 Anta at et ukjent system har et arbeidsledd på formen $dW = y dx$, hvor y og x er henholdsvis en intensiv og en ekstensiv størrelse. Hva er de naturlige variable til Gibbs frie energi G ?

Anta at systemet er lukket slik at $dN = 0$.

Velg ett alternativ

- (x, S)
- (y, S)
- (x, y)
- (x, T)
- (y, T)

- 32 Hvor mange dimensjoner d har faserommet til en ideell gass med N partikler? Anta at hver partikkel kan bevege seg i 3-dimensjoner.

Velg ett alternativ

- $d = N$
- $d = 3N$
- $d = 6N$
- $d = 8N$
- $d = 9N$

Maks poeng: 1

- 33 Adsorpsjon er en prosess hvor gasspartikler bindes til overflaten av et fast stoff og danner en tynn film på overflaten av det faste stoffet. I denne oppgaven skal vi se på en enkel modell for adsorpsjon hvor det faste stoffet maksimalt kan oppta M antall partikler. Vi innfører hjelpestørrelsen θ som et mål på hvor mange partikler stoffet faktisk har adsorbert. Dvs at hvis $\theta = 0$ så har ikke det faste stoffet adsorbert noen gasspartikler og hvis $\theta = 1$ har det faste stoffet adsorbert M partikler. Generelt hvis stoffet har adsorbert $N < M$ partikler er $\theta = N/M$.

Det faste stoffet har et kjemisk potensial μ_{2D} på formen

$$\mu_{2D}(\theta, T) = -kT \ln\left(\frac{1}{\theta} - 1\right)$$

hvor T er temperaturen til det faste stoffet.

Gassen har et kjemisk potensial μ_g på formen

$$\mu_g(m, p, T) = -kT \ln \left[\frac{kT}{p} \left(\frac{2\pi m kT}{h^2} \right)^{3/2} \right]$$

hvor m , T og p er henholdsvis massen til gasspartiklene, gassens temperatur, og gassens trykk.

Videre så er k , π , og h konstanter.

Anta at det faste stoffet og gassen som skal adsorberes er i *likevekt* og at begge har temperaturen T_0 .

Hva er sammenhengen mellom θ , p , m og T_0 ?

Velg ett alternativ

- $\frac{1}{(kT_0)^{5/2}} \frac{1-\theta}{\theta} = \frac{1}{p} \left(\frac{2\pi m}{h^2} \right)^{3/2}$
- $\frac{1}{(kT_0)^{3/2}} \frac{1-\theta}{\theta} = \frac{1}{p} \left(\frac{2\pi m}{h^2} \right)^{5/2}$
- $\frac{1}{(kT_0)^{3/2}} \left(\frac{1-\theta}{\theta} \right)^2 = \frac{1}{p} \left(\frac{2\pi m}{h^2} \right)^{5/2}$
- $\frac{1-\theta}{\theta} = \frac{1}{p} \left(\frac{2\pi m}{h^2} \right)^{5/2}$
- $\frac{1-\theta}{(kT_0)^{3/2}} = \frac{1}{p} \left(\frac{2\pi m}{h^2} \right)^{5/2}$

Maks poeng: 1

- 34 Hvilket av alternativene under er en korrekt tolkning av det kjemiske potensial i et åpent system med kun en type partikler?

Tips: Åpent betyr i denne sammenheng at systemet kan utveksle partikler med omgivelsene.

Velg ett alternativ

- Kjemisk potensial er forholdet mellom partiklenes kinetiske og potensielle energi.
- Entalpi per partikkel med (S, V) konstant
- Gibbs fri energi per partikkel med (p, T) konstant
- Helmholtz fri energi per partikkel med (p, T) konstant
- Indre energi per partikkel med (S, T) konstant

Maks poeng: 1

- 35 En gass' tilstandsvariabler (p, V, T) er knyttet sammen via relasjonen

$$dV = \left(\frac{R}{p} + \frac{3b}{T^4} \right) dT - \frac{RT}{p^2} dp.$$

Her er dV , dT og dp infinitesimale endringer i henholdsvis volum, temperatur og trykk. R og b er konstanter.

Er differensialet dV et eksakt differensial?

Tips: Et differensial er eksakt hvis og bare hvis Maxwell relasjonen er oppfylt.

Velg ett alternativ

- dV er ikke et eksakt differensial når $b > 0$
- dV er et eksakt differensial uavhengig av R og b
- dV er ikke et eksakt differensial når $R > 0$
- dV er et eksakt differensial bare når $b > 0$ og $R > 0$
- dV er ikke et eksakt differensial når $b > 0$ og $R > 0$

Maks poeng: 1

- 36 Se på et system med kun en type partikler slik at

$$dG = \mu dN + V dp - S dT$$

og anta at entropien er en positiv størrelse. Hva skjer med μ dersom du endrer p eller T ?

Velg ett alternativ

- Økt p med konstant T , gir større μ . Økt T med konstant p , gir større μ
- Økt p med konstant T , gir mindre μ . Økt T med konstant p , gir større μ
- Økt p med konstant T , gir større μ . Økt T med konstant p , gir mindre μ
- Økt p med konstant T , gir mindre μ . Økt T med konstant p , gir mindre μ
- μ er uavhengig av trykk og temperatur

- 37 I en blanding av vann (H_2O), salt (NaCl), og nitrogen (N_2), hvor mange faser kan maksimalt være i likevekt samtidig?

Velg ett alternativ

- 7
 6
 5
 4
 3

Maks poeng: 1

- 38 I denne oppgaven skal vi se på en faseovergang fra en ukjent fase med tilstandsligning $v_u = \frac{A}{pT}$ til en gass med tilstandsligning $v_g = B\frac{T}{p}$. Her er v_u, v_g, T og p henholdsvis volum per partikkel for den ukjente fasen, volum per partikkel for gassen, temperatur, og trykk. Videre er $A = 1 \text{ Pa K m}^3$ og $B = 1 \frac{\text{Pa m}^3}{\text{K}}$.

Merk at begge tilstandsligningene ovenfor er kun gyldige når $0 \text{ K} \leq T < 1 \text{ K}$. Dvs at du ikke trenger å bry deg om hva som skjer for temperaturer utenfor dette intervallet.

Dersom du antar at vi fordamper den ukjente fasen ved å tilføre en konstant mengde latent varme l hva blir faselikvetslinjen i et (p, T) -diagram?

Med andre ord: ved hvilke trykk og temperaturer kan de to fasene (ukjent stoff og gass) eksistere i likevekt?

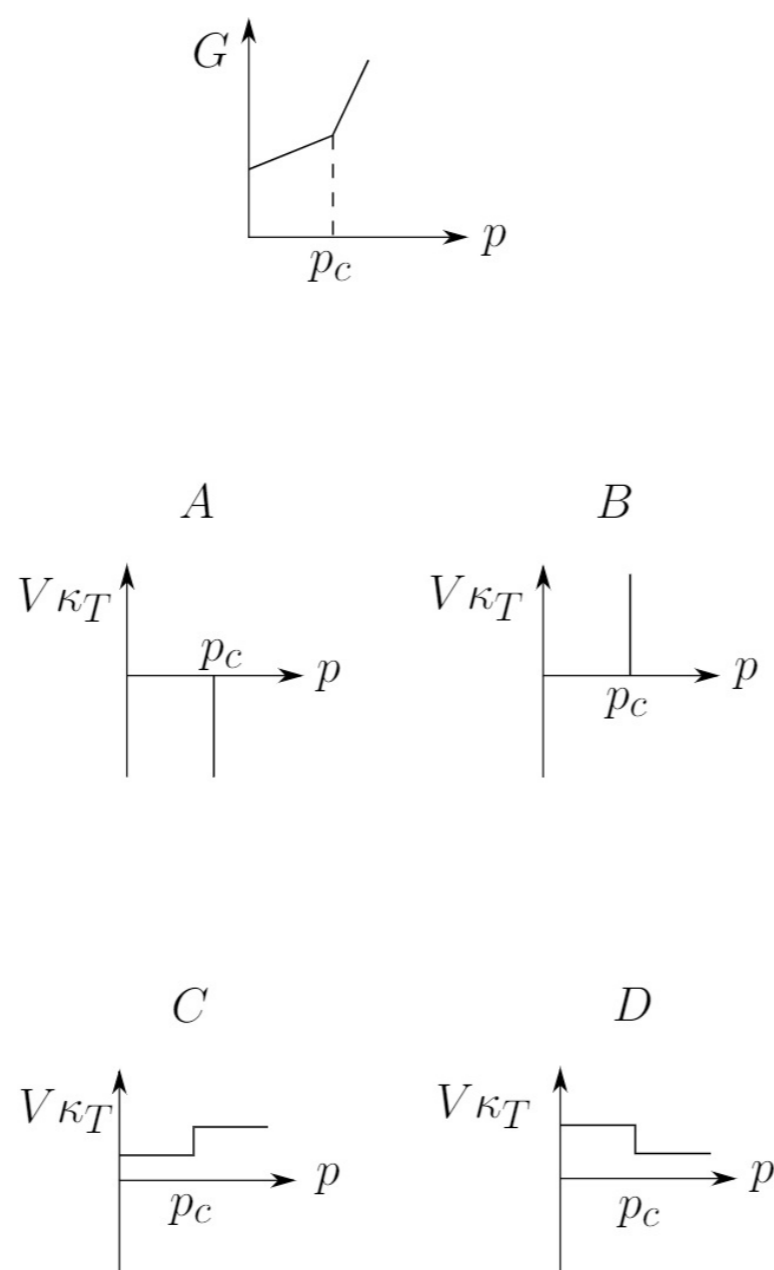
Oppgitt

- $\int \frac{dx}{x^2-1} = \frac{1}{2} \ln \frac{1-x}{1+x} + C$
- For å bestemme integrasjonskonstanten bruk betingelsen $p(T = 0) = 1$
- Siden $A = B = 1$ er de ikke inkludert i alternativene nedenfor.

Velg ett alternativ

- $p = \left(\frac{2-T}{2+T}\right)^{l/2}$
 $p = \frac{1}{2} \left(\frac{1-T}{1+T}\right)^{l/2}$
 $p = \left(\frac{1-2T}{1+2T}\right)^{l/2}$
 $p = \left(\frac{1-T}{1+T}\right)^{l/2}$
 $p = \frac{3}{2} \left(\frac{1-T}{1+T}\right)^{l/2}$

39



Figuren viser Gibbs' frie energi G som en funksjon av trykk p for et ukjent system. Ved trykket p_c gjennomgår systemet en faseovergang.

Hvilken av figurene A , B , C eller D viser den korrekte oppførslen til størrelsen $V\kappa_T$ som funksjon av trykk?

Her er V og κ_T henholdsvis systemets volum og isoterme kompressibilitet.

Velg ett alternativ

- Størrelsen $V\kappa_T$ divergerer i punktet p_c som vist på figur A.
- Størrelsen $V\kappa_T$ divergerer i punktet p_c som vist på figur B.
- Størrelsen $V\kappa_T$ har et sprang i punktet p_c som vist på figur C.
- Størrelsen $V\kappa_T$ har et sprang i punktet p_c som vist på figur D.
- Ingen av figurene A, B, C eller D er korrekte. Det er nemlig slik at $V\kappa_T = \infty$ for alle trykk p .

Maks poeng: 1

40 En ukjent gass er karakterisert ved tilstandslikninga $p = AV^3 - TBV^2 + CV + D$, hvor A , B , C og D er dimensjonsfulle konstanter. Anta at $A = 1 \frac{\text{Pa}}{\text{m}^3}$, $B = 1 \frac{\text{Pa}}{\text{K m}^2}$, $C = 1 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$ og $D = 100 \text{ Pa}$.

Hva er gassens kritiske temperatur T_c ?

Velg ett alternativ

- $T_c = \sqrt{2} \text{ K}$
- $T_c = \sqrt{3} \text{ K}$
- $T_c = \sqrt{3/2} \text{ K}$
- $T_c = 2 \text{ K}$
- $T_c = \sqrt{5/2} \text{ K}$

Maks poeng: 1

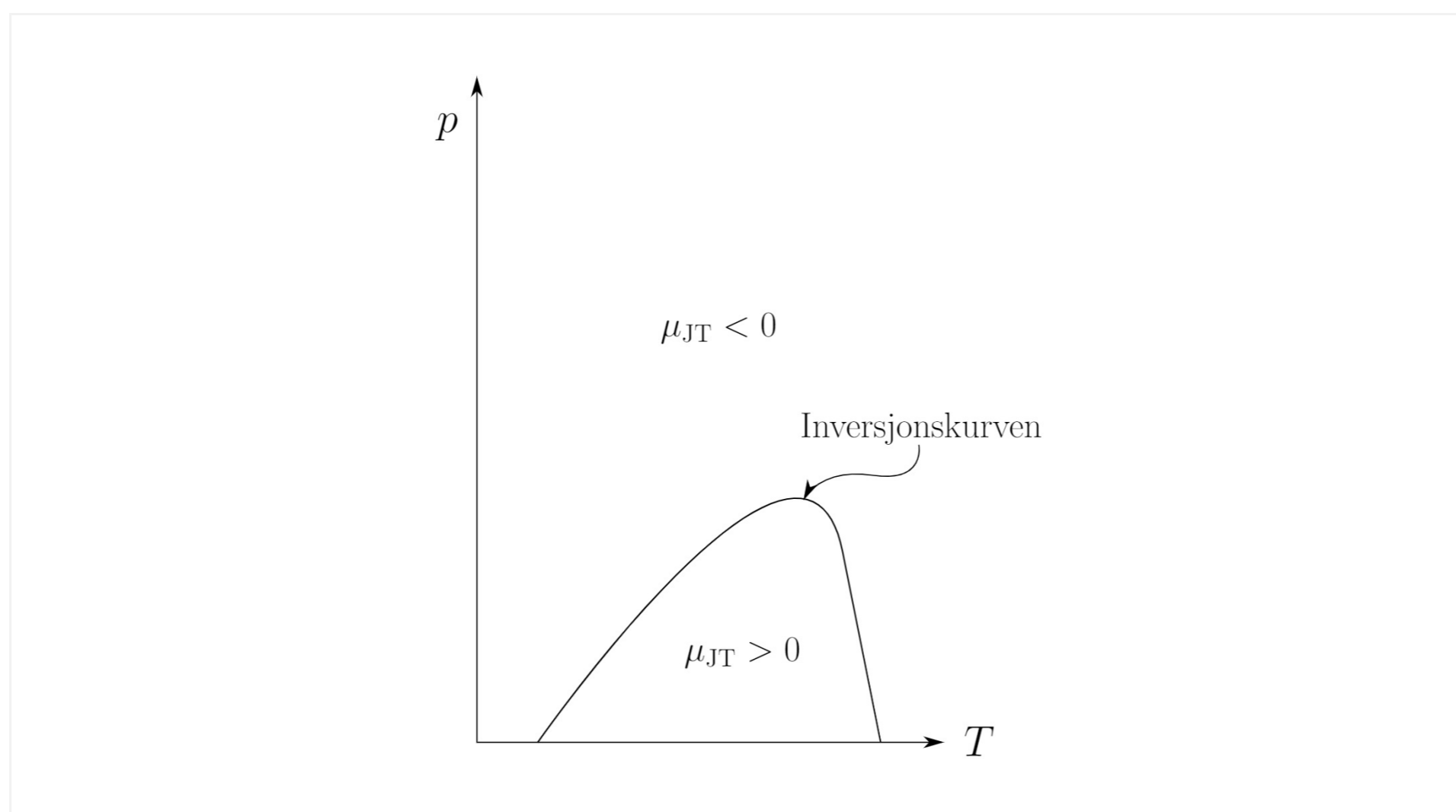
41 Påstandene under dreier seg om Maxwell konstruksjonen. Hvilken påstand er korrekt?

Velg ett alternativ

- Maxwell konstruksjonen er en konsekvens av at Gibbs' frie energi er en analytisk funksjon i en faseovergang.
- Maxwell konstruksjonen kan brukes til å bestemme koeksistenstrykket mellom væske og gass i en faseovergang.
- Maxwell konstruksjonen er spesielt nyttig for å beskrive kondenseringen av en ideell gass.
- Maxwell konstruksjonen blir brukt til å beskrive en Van Der Waals isoterm for temperaturer større enn den kritiske temperaturen til systemet.
- Maxwell konstruksjonen kan ikke brukes til noe som helst.

Maks poeng: 1

42



Diagrammet viser fortegnet til Joule-Thomson koeffisienten μ_{JT} for nitrogen (N_2) som funksjon av trykk p og temperatur T . Området hvor $\mu_{JT} > 0$ er adskilt fra området hvor $\mu_{JT} < 0$ av inversjonskurven hvor $\mu_{JT} = 0$.

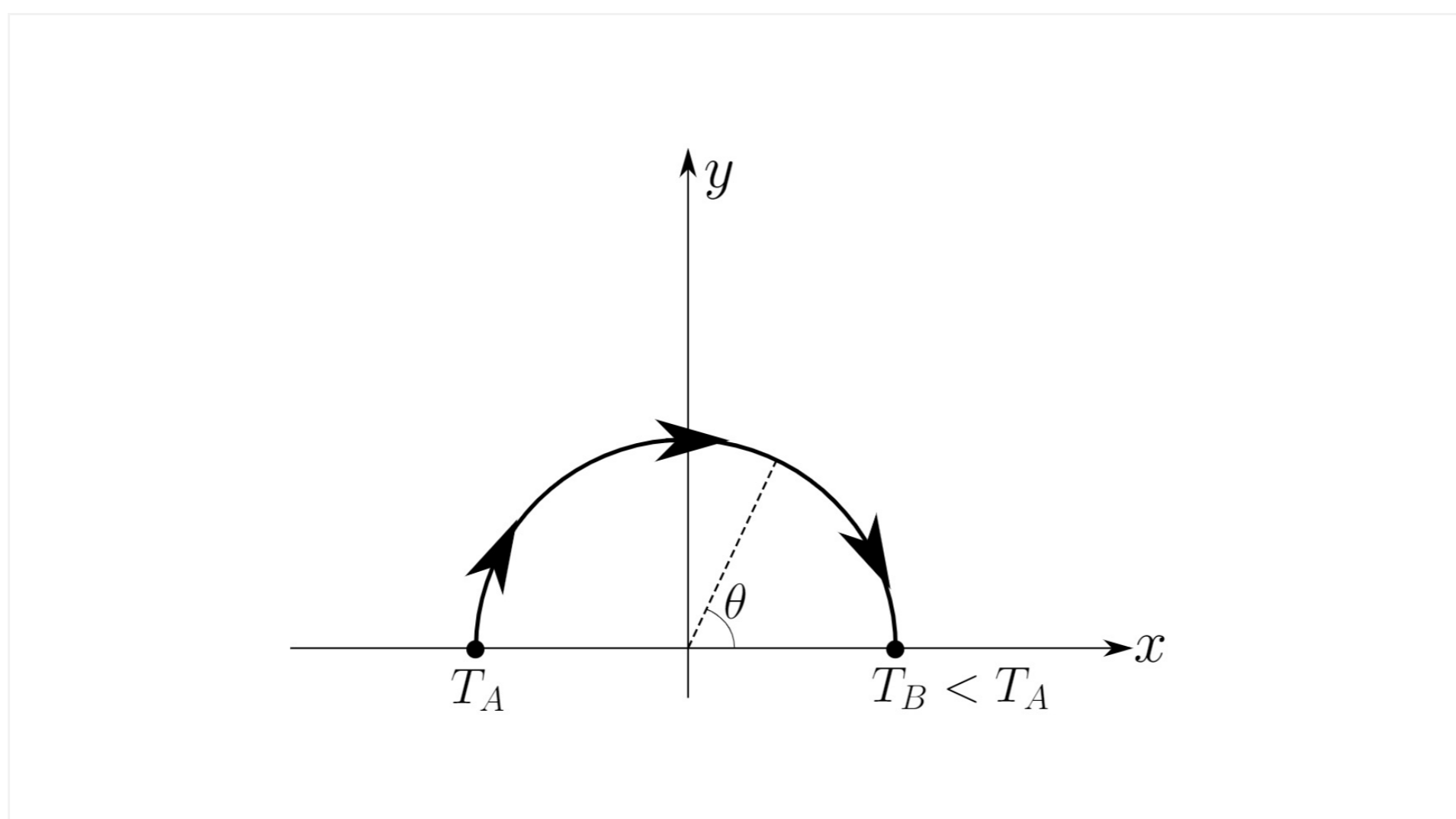
I hvilket område burde prosesskurven befinne seg dersom du ønsker å kjøle nitrogengassen ned via en isentalpisk trykkreduksjon?

Velg ett alternativ

- På inversjonskurven hvor $\mu_{JT} = 0$
- I området hvor $\mu_{JT} < 0$
- I området hvor $\mu_{JT} > 0$
- Nitrogen kan ikke kjøles ned ved hjelp av en isentalpisk trykkreduksjon
- Nitrogen kan ikke varmes opp ved hjelp av en isentalpisk trykkreduksjon

Maks poeng: 1

43



I figuren er det en uendelig tynn halvsirkel med radius $r = 1 \text{ m}$. Halvsirkelen er laget av jern, som har konstant termisk diffusivitet D_T . Anta at temperaturene $T(\theta = \pi) = T_A$ og $T(\theta = 0) = T_B < T_A$ på halvsirkelens endepunkter holdes konstant, og at halvsirkelens overflate er varmeisoleret. Med disse antagelsene vil det etterhvert oppstå en stasjonær varmestrømtetthet som flyter langs med sirkelen fra endepunktet med temperatur T_A til endepunktet med temperatur T_B .

Bestem den stasjonære temperaturprofilen på ringen som funksjon av polarvinkelen θ .

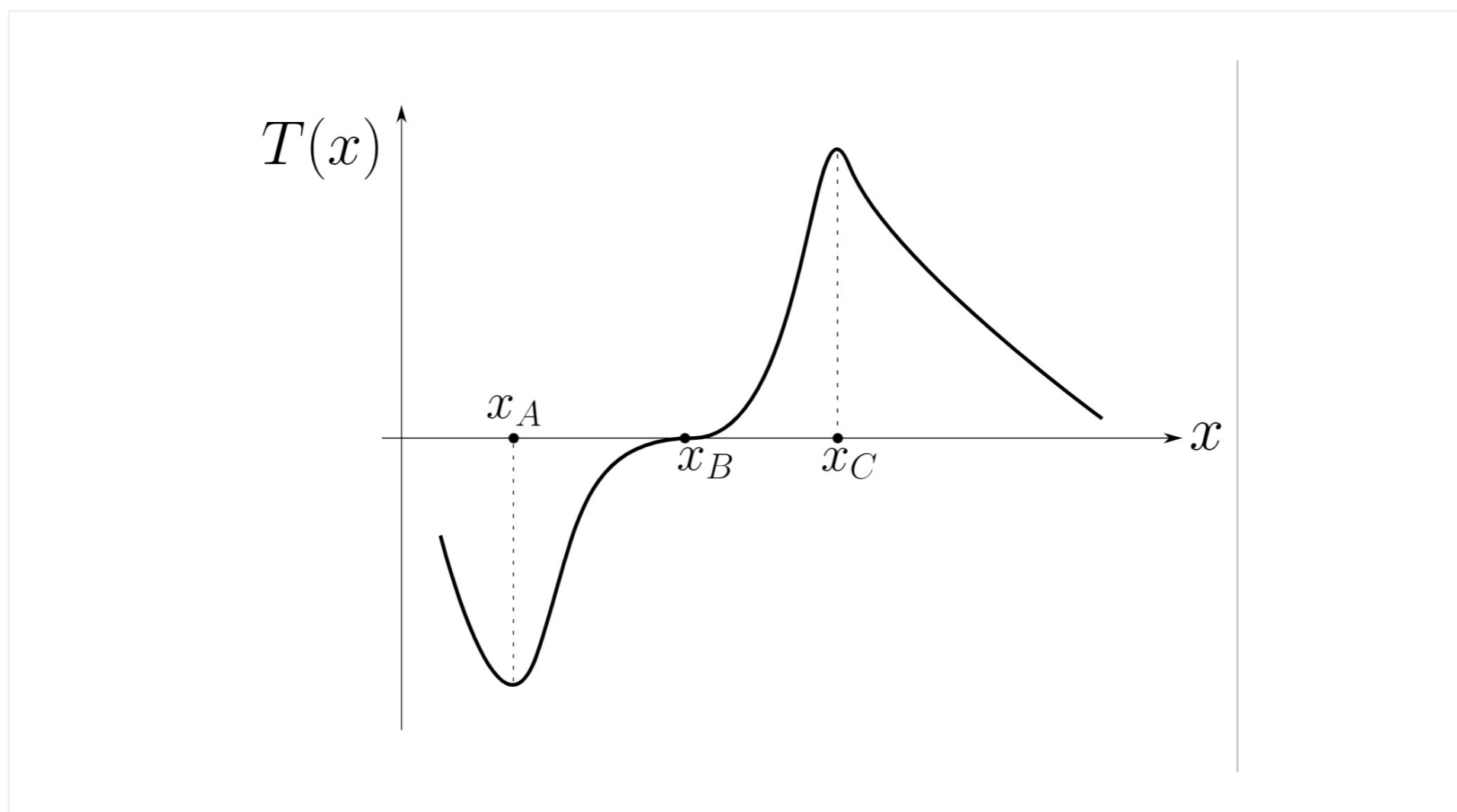
Opgitt: Laplace operatoren i polarkoordinater er

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}$$

Velg ett alternativ

- $T(\theta) = (T_A - T_B) \left(\frac{\theta}{\pi}\right) + T_B$
- $T(\theta) = (T_A - T_B) \left(\frac{\theta}{\pi}\right)^2 + T_B$
- $T(\theta) = (T_A - T_B) \left(\frac{\theta}{\pi}\right)^3 + T_B$
- $T(\theta) = (T_A - T_B) \left(\frac{\theta}{\pi}\right)^{3/2} + T_B$
- $T(\theta) = (T_A - T_B) \left(\frac{\theta}{\pi}\right)^{1/2} + T_B$

44



Figuren viser en endimensjonal temperaturprofil for et ukjent system med $D_T > 0$.

Hva forventer du skjer med temperaturen i posisjonene x_A , x_B , og x_C i temperaturprofilen?

Spesifisering: x_A er et lokalt minimum, x_B er et sadelpunkt, og x_C er et lokalt maksimum

Velg ett alternativ

- $T(x_A)$ minker, $T(x_B)$ holder seg konstant, og $T(x_C)$ øker
- $T(x_A)$ øker, $T(x_B)$ holder seg konstant, og $T(x_C)$ minker
- $T(x_A)$ øker, $T(x_B)$ minker, og $T(x_C)$ minker
- $T(x_A)$ øker, $T(x_B)$ øker, og $T(x_C)$ minker
- $T(x_A)$ minker, $T(x_B)$ holder seg konstant, og $T(x_C)$ minker

Maks poeng: 1

45

I forelesning har vi sett på en endimensjonal mikroskopisk modell for diffusjon. Modellen baserte seg på at en partikkel kan enten hoppe til høyre eller hoppe til venstre på et uendelig stort endimensjonalt gitter.

Vi regnet ut at sannsynlighetstettheten i en dimensjon var gitt av uttrykket

$$\tilde{P}(x, t) = \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} e^{-\frac{x^2}{4Dt}}.$$

Størrelsen $\tilde{P}(x, t)dx$ er sannsynligheten for at en partikkel befinner seg på intervallet $(x, x + dx)$ ved tida t , gitt at i starten av eksperimentet befant partikkelen seg i posisjonen $x = 0$.

Hvordan oppfører forventningsverdiene $\langle x \rangle$ og $\langle x^2 \rangle$ som funksjon av tida t ?

Velg ett alternativ

- $\langle x \rangle = 0, \langle x^2 \rangle = 0$
- $\langle x \rangle = 0, \langle x^2 \rangle \propto t$
- $\langle x \rangle \propto t, \langle x^2 \rangle = 0$
- $\langle x \rangle \propto t, \langle x^2 \rangle \propto t$
- $\langle x \rangle = 0, \langle x^2 \rangle \propto \sqrt{t}$

Maks poeng: 1