



## i Kopi av Informasjon

Institutt for fysikk

Eksamensoppgave i TFY4165 - Termisk Fysikk

Faglig kontakt under eksamen: Jon Andreas Støvneng

Tlf.: 45 45 55 33

Eksamensdato: 8. August 2019

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.
- 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 Ny oppgave

Hvilken av påstandene under er korrekt for et materielt åpent system som er termisk isolert fra sine omgivelser:

- A) Det finnes ingen slike systemer
- B) Systemet kan hverken utveksle energi eller partikler med sine omgivelser
- C) Systemet kan ikke utveksle partikler med sine omgivelser, men kan utveksle energi
- D) Systemet kan utveksle både partikler og energi med sine omgivelser
- E) Systemet kan utveksle partikler, men ikke energi med sine omgivelser

**Velg ett alternativ**

- ☐ A
- ☐ B
- ☐ C
- ☐ D
- ☐ E

[Sjekk svar](#)

## 2 Kopi av Ny oppgave

Hva er Joule-Thomson koeffisienten til en 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**

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

[Sjekk svar](#)

### 3 Ny oppgave

Anta at du er interessert i å bestemme tilstandsligningen til 1 mol gass. For å gjøre dette har du målt volumutvidelseskoeffisienten  $\alpha_V$ , trykk-koeffisienten  $\alpha_p$ , og den isoterme kompressibiliteten  $\kappa_T$ . Resultatene er  $\alpha_p = \alpha_V = R/(pV)$ , og  $\kappa_T = \frac{RT}{p^2V}$ . Her er  $R$  en konstant.

Hva er gassens tilstandsligning?

Velg ett alternativ

- ☐  $p = \frac{RT}{V}$
- ☐  $p = \sqrt{\frac{RT}{V}}$
- ☐  $p = R\left(\frac{T}{V}\right)^2$
- ☐  $p = \frac{RT}{2V}$
- ☐  $p = RTV$

[Sjekk svar](#)

### 4 Ny oppgave

Virialekspansjonen brukes for å studere en reell gass ved lave partikkeltettheter  $N/V$ .

Tilstandsligningen er

$$\frac{p}{kT} = \frac{N}{V} + \frac{N^2}{V^2} B_2(T)$$

hvor  $B_2(T) = \frac{1}{2} \text{ m}^3$ .

Hva er den isoterme kompressibiliteten  $\kappa_T$  for denne gassen?

Velg ett alternativ

- ☐  $\kappa_T = 0$
- ☐  $\kappa_T = \frac{V}{NkT} \left( \frac{1}{1+N/V} \right)$
- ☐  $\kappa_T = \frac{V}{NkT} \left( \frac{1}{1+2N/V} \right)$
- ☐  $\kappa_T = \frac{V}{NkT} \left( \frac{1}{1+3N/V} \right)$
- ☐  $\kappa_T = \frac{V}{NkT} \left( \frac{1}{1+4N/V} \right)$

Merk: Her kan det se ut som om størrelsene i parentes ikke er dimensjonsløse, men husk at vi har satt inn tallverdien for  $B_2(T)$ .

[Sjekk svar](#)

## 5 Kopi av Ny oppgave

Hva er den korrekte definisjonen av arbeid?

**Velg ett alternativ**

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

[Sjekk svar](#)

## 6 Ny oppgave

En toatomig ideell gass kan utvide seg reversibelt fra en gitt starttilstand  $(p_0, V_0, T_0)$  til et sluttvolum  $5V_0$  på ulike måter: (1) isobart; (2) isotermt; (3) adiabatisk. Ranger de tilsvarende mengder arbeid utført av gassen i de tre prosessene, henholdsvis (1)  $W_p$ ; (2)  $W_T$ ; (3)  $W_S$ .

**Velg ett alternativ**

- ☐  $W_S > W_p > W_T$
- ☐  $W_T > W_S > W_p$
- ☐  $W_T > W_p > W_S$
- ☐  $W_p > W_S > W_T$
- ☐  $W_p > W_T > W_S$

[Sjekk svar](#)

## 7 Kopi av Ny oppgave

Beregn  $C_p$  for en ideell gass. Anta at  $C_V = \frac{3}{2}Nk$ .

Velg ett alternativ

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

[Sjekk svar](#)

## 8 Ny oppgave

En diatomisk ideell gass undergår en adiabatisk ekspansjon fra starttilstanden  $(p_1, V_1, T_1) = (300 \text{ Pa}, V_1 = 1 \text{ m}^3, 300 \text{ K})$  til en slutttilstand  $(p_2, V_2, T_2) = (64.4 \text{ Pa}, V_2 = 3.0 \text{ m}^3, 193.2 \text{ K})$ .

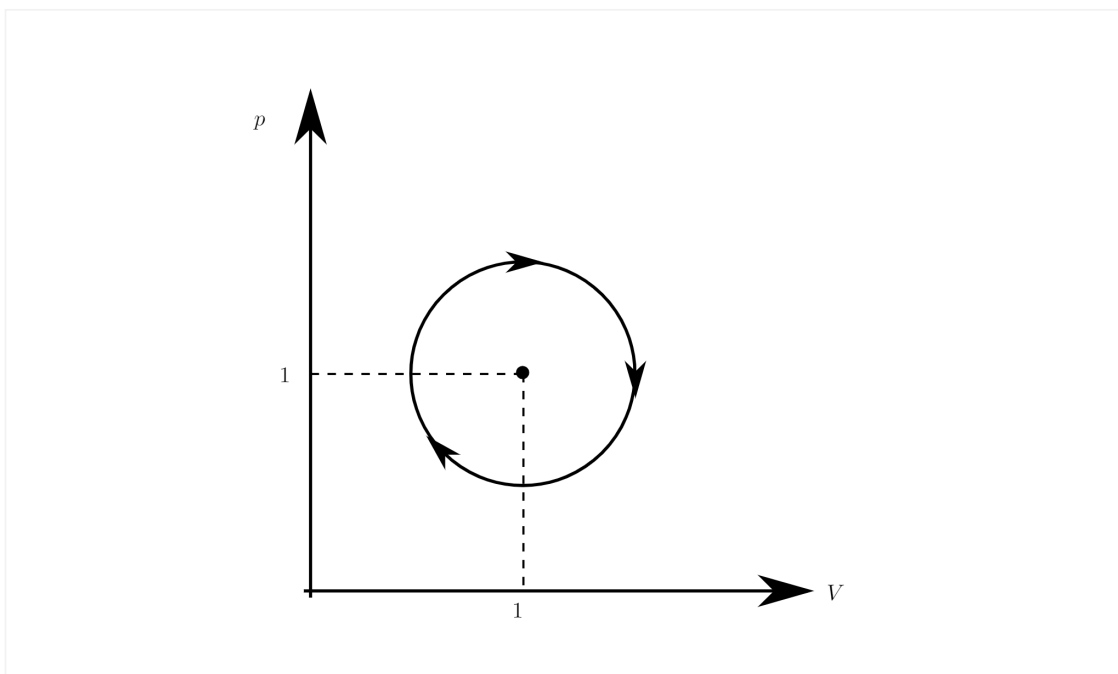
Hva er entropiendringen  $\Delta S$  i denne prosessen?

Velg ett alternativ

- ☐  $\Delta S = 0 \text{ J/K}$
- ☐  $\Delta S = 13.01 \text{ J/K}$
- ☐  $\Delta S = 13.27 \text{ J/K}$
- ☐  $\Delta S = 13.39 \text{ J/K}$
- ☐  $\Delta S = 13.76 \text{ J/K}$

[Sjekk svar](#)

## 9 Kopi av Ny oppgave



Figuren viser en sirkulær kretsprosess sentrert i punktet  $(p, V) = (1, 1)$  med radius  $R = 1/2$ . Dersom du bruker kretsprosessen som en varmekraftmaskin (dvs omløp med klokka) hva er arbeidet utført per syklus?

Velg ett alternativ

- ☐  $W = -\pi/4$
- ☐  $W = \pi/4$
- ☐  $W = \pi$
- ☐  $W = -\pi$
- ☐  $W = \pi/8$

[Sjekk svar](#)

## 10 Kopi av Ny oppgave

Ved å bruke Carnots teorem, finn en øvre grense  $\eta_c$  for virkningsgraden til den sirkulære kretsprosessen i forrige oppgave. Anta at arbeidssubstansen er en ideell gass.

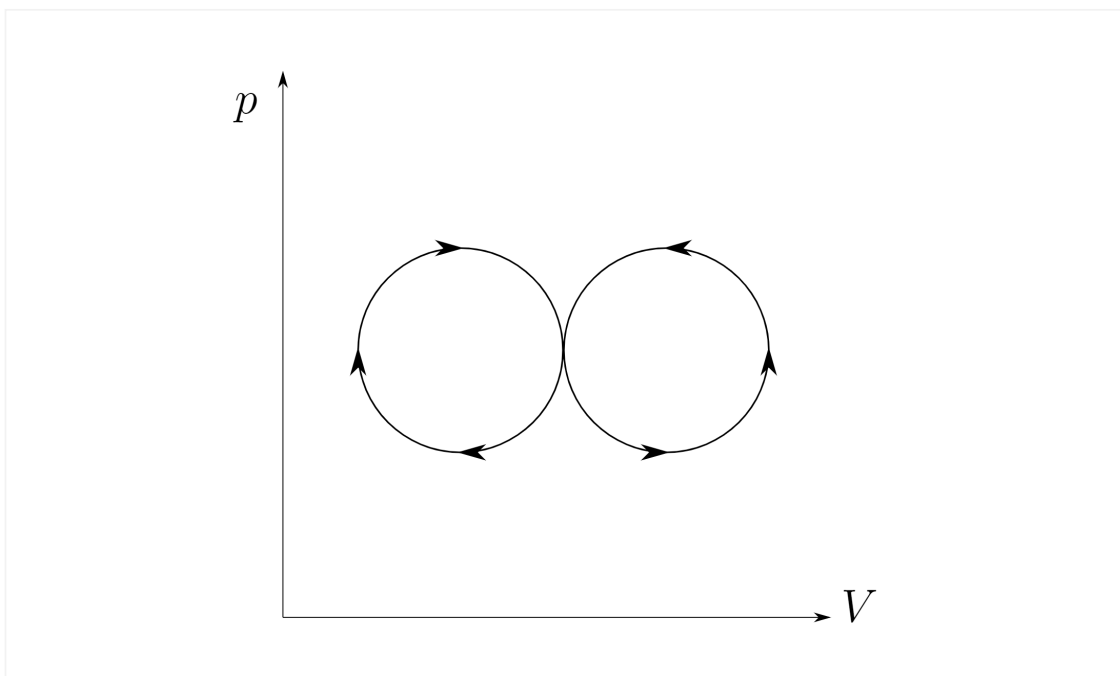
Hint:

- Sirkelprosessen oppfyller ligningen  $\left(\frac{p-1}{p_0}\right)^2 + \left(\frac{V-1}{V_0}\right)^2 = 1$  hvor  $p_0 = 1/2 \text{ Pa}$  og  $V_0 = 1/2 \text{ m}^3$
- Parametriser kurven som  $p = 1 + \frac{1}{2}\sin(\phi)$  og  $V = 1 + \frac{1}{2}\cos(\phi)$

Velg ett alternativ

- ☐  $\eta_c \approx 77\%$
- ☐  $\eta_c \approx 61\%$
- ☐  $\eta_c \approx 56\%$
- ☐  $\eta_c \approx 42\%$
- ☐  $\eta_c \approx 29\%$

[Sjekk svar](#)

11 **Kopi av Ny oppgave**

I figuren finner du en tenkt reversibel syklisk prosess i et  $(p, V)$ - diagram. Dersom du antar at de to sirklene har samme radius  $R$ , hva er den totale entropiendringen per syklus?

**Velg ett alternativ**

- ☐  $\Delta S = 0$
- ☐  $\Delta S = 2\pi R^2$
- ☐  $\Delta S = 4\pi R^2$
- ☐  $\Delta S = 4\pi R$
- ☐  $\Delta S = \frac{4}{3}\pi R^3$

[Sjekk svar](#)



## 12 Kopi av Ny oppgave

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 slutttilstanden.

**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 varmeisolert prosess må øke.
- ☐ Termodynamikkens 2. lov garanterer at entropien i en irreversibel varmeisolert prosess må øke.

[Sjekk svar](#)

## 13 Ny oppgave

Hvilken av funksjonene  $F(v_x, v_y, v_z)$  under er isotrop?  $A$  er en konstant.

**Velg ett alternativ**

- ☐  $F(v_x, v_y, v_z) = A\sqrt{v_x + v_y + v_z}$
- ☐  $F(v_x, v_y, v_z) = A(\sin(v_x) + \cos(v_y) + \tan(v_z))$
- ☐  $F(v_x, v_y, v_z) = A(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)$
- ☐  $F(v_x, v_y, v_z) = A(v_x^2 + v_y^2 + 0.5v_z^2)$
- ☐  $F(v_x, v_y, v_z) = A(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)^{1/2}$

[Sjekk svar](#)

**14 Ny oppgave**

Bruk Maxwells fartsfordeling til å beregne størrelsen  $v_{\text{rms}} = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$ .

**Velg ett alternativ**

☐  $v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{5kT}{2m}}$

☐  $v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{kT}{2m}}$

☐  $v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{kT}{m}}$

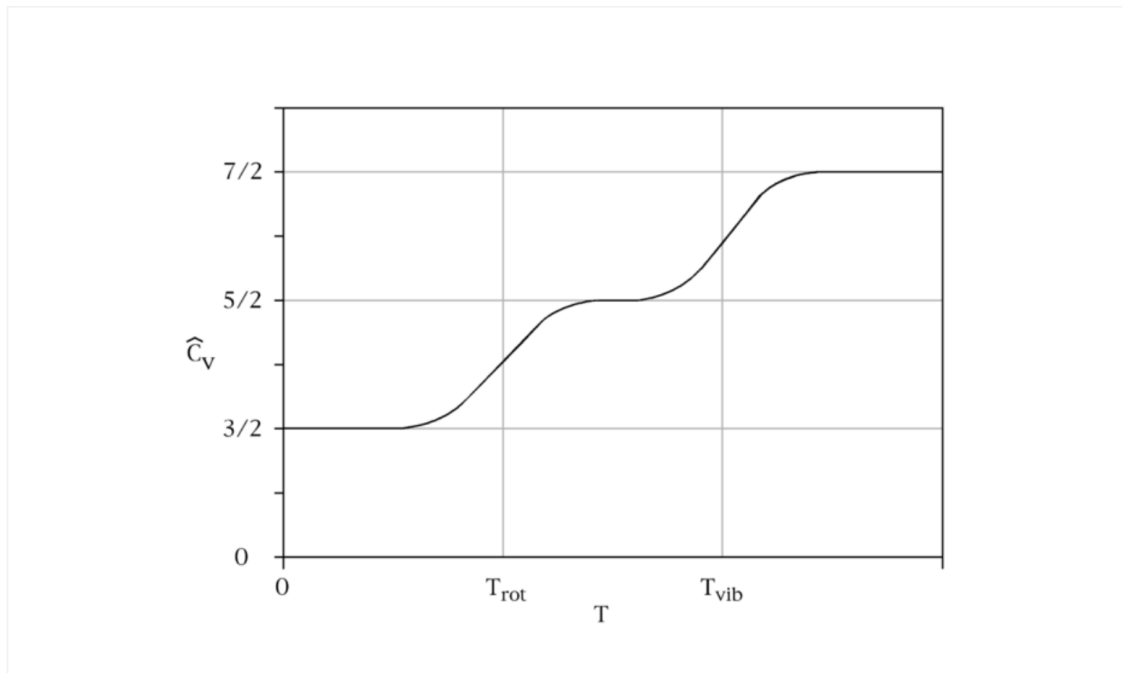
☐  $v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3kT}{2m}}$

☐  $v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$

Denne størrelsen er interessant fordi den er proporsjonal til gassens lyd hastighet.

[Sjekk svar](#)

## 15 Ny oppgave



I figuren ser du varmekapasiteten  $C_V$  for Hydrogen som funksjon av temperatur  $T$ . Legg merke til at ved temperaturene  $T_{\text{rot}}$  og  $T_{\text{vib}}$  "hopper" varmekapasiteten.

Hvilken av påstandene under er korrekt?

A)  $T_{\text{vib}} \approx 300 \text{ K}$

B) Hoppet er særegent for Hydrogen. Det er nesten ingen andre diatomiske molekyler som har denne oppførselen.

C) For  $T < T_{\text{vib}}$  er den termiske energien  $kT$  mindre enn eksitasjonsenergien  $\hbar\omega$  slik at vibrasjonsmodene ikke kan bli eksitert.

D) For  $T < T_{\text{vib}}$  er den termiske energien  $kT$  større enn eksitasjonsenergien  $\hbar\omega$  slik at vibrasjonsmodene ikke kan bli eksitert.

E) Eksitasjonsenergien  $\hbar\omega$  er så liten at størrelsesforholdet  $\hbar\omega/(kT)$  er neglisjerbart ved alle temperaturer.

**Velg ett alternativ**

- ☐ A
- ☐ B
- ☐ C
- ☐ D
- ☐ E

[Sjekk svar](#)

## 16 Ny oppgave

Hva er varmekapasiteten  $C_V$  til en to-dimensjonal diatomisk gass ved romtemperatur?

Velg ett alternativ

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

[Sjekk svar](#)

## 17 Kopi av Ny oppgave

Anta at en gass har en Helmholtz fri energi på formen

$$F = NkT \ln\left(\frac{N\lambda^3}{V}\right) - NkT.$$

Her er  $N$ ,  $k$ ,  $T$  og  $V$  henholdsvis partikkeltall, Boltzmanns konstant, temperatur og volum. Parameteren  $\lambda$  er en statistisk størrelse som bare avhenger av gasspartiklenes masse og gassens temperatur.

Hva er gassens tilstandsligning?

Velg ett alternativ

- ☐  $P = \frac{NkT}{V}$
- ☐  $P = \frac{NkT}{V} \left(1 + \frac{N\lambda^3}{V}\right)$
- ☐  $P = \sqrt{\frac{NkT}{V} \left(1 + \frac{N\lambda^3}{V}\right)}$
- ☐  $P = \frac{NkT}{V} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{N\lambda^3}{V}\right)$
- ☐  $P = \sqrt{\frac{NkT}{V} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{N\lambda^3}{V}\right)}$

[Sjekk svar](#)

**18 Ny oppgave**

Anta at en ukjent gass oppfyller tilstandsligningen  $p\sqrt{V} = AT$  hvor  $A > 0$  er en konstant. I tillegg oppgis det at gassens entalpi er  $H = pV$ .

Beregn varmekapasiteten ved konstant trykk  $C_p$ .

**Velg ett alternativ**

- ☐  $C_p = A\sqrt{V}$
- ☐  $C_p = 2A\sqrt{V}$
- ☐  $C_p = 3A\sqrt{V}$
- ☐  $C_p = 4A\sqrt{V}$
- ☐  $C_p = 5A\sqrt{V}$

[Sjekk svar](#)

**19 Ny oppgave**

Anta at en ukjent gass oppfyller tilstandsligningen  $p\sqrt{V} = AT$  hvor  $A > 0$  er en konstant. I tillegg oppgis det at gassens entalpi er  $H = pV$ .

Beregn gassens entropiendring  $\Delta S$  i en irreversibel prosess med starttilstand  $(p_0, V_0, T_0)$  og slutttilstand  $(p_1, V_1, T_1)$ .

**Velg ett alternativ**

- ☐  $\Delta S = A(\sqrt{V_1} - \sqrt{V_0})$
- ☐  $\Delta S = 2A(\sqrt{V_1} - \sqrt{V_0})$
- ☐  $\Delta S = A(\sqrt{V_1 - V_0})$
- ☐  $\Delta S = 2A(\sqrt{V_1 - V_0})$
- ☐  $\Delta S = 0$

[Sjekk svar](#)

## 20 Ny oppgave

En varmekraftmaskin kjører en syklisk kretsprosess bestående av fire steg:

1. En isochor med tilstandsendringen  $(p_1, V_1, T_1) \rightarrow (p_2, V_1, T_2)$
2. En isobar med tilstandsendringen  $(p_2, V_1, T_2) \rightarrow (p_2, V_3, T_3)$
3. En isochor med tilstandsendringen  $(p_2, V_3, T_3) \rightarrow (p_1, V_3, T_4)$
4. En isobar med tilstandsendringen  $(p_1, V_3, T_4) \rightarrow (p_1, V_1, T_1)$

Anta monoatomisk ideell gass.

Hva er varmekraftmaskinens virkningsgrad  $\eta$ ?

Tips: Tegn kretsprosessen i et  $(p, V)$  diagram.

Anta at  $p_2 > p_1$  og  $V_3 > V_1$ .

**Velg ett alternativ**

- ☐  $\eta = \frac{(p_2 - p_1)(V_3 - V_1)}{C_V(T_3 - T_2) + C_p(T_2 - T_1)}$
- ☐  $\eta = \frac{(p_2 - p_1)(V_3 - V_1)}{C_p(T_2 - T_3) + C_V(T_1 - T_2)}$
- ☐  $\eta = \frac{(p_2 - p_1)(V_3 - V_1)}{C_p(T_3 - T_2) + C_V(T_2 - T_1)}$
- ☐  $\eta = \frac{(p_2 - p_1)(V_1 - V_3)}{C_p(T_3 + T_2) + C_V(T_2 + T_1)}$
- ☐ Det er ikke oppgitt nok informasjon til å beregne  $\eta$

[Sjekk svar](#)

## 21 Ny oppgave

Identifiser **alle** setningene under som er ekvivalente:

- A) I en irreversibel prosess er  $dS > 0$
- B) Et system som prøver å oppnå likevekt med sine omgivelser vil alltid forsøke å minimere den relevante frie energien
- C) Energi er bevart
- D) Entropien til et system går vanligvis mot null når  $T \rightarrow 0$
- E) Ingen av setningene er ekvivalente

**Velg ett alternativ**

- ☐ A, B
- ☐ A, B, C
- ☐ E
- ☐ A, C, D
- ☐ A, C

[Sjekk svar](#)

## 22 Kopi av Ny oppgave

Beregn entropiendringen  $\Delta S$  i en reversibel isoterm 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**

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

[Sjekk svar](#)

**23 Ny oppgave**

To like mengder vann med masse  $m$  og temperatur  $T_0$  blir blandet sammen adiabatisk under konstant trykk. Hva er universets entropiendring  $\Delta S$ ?

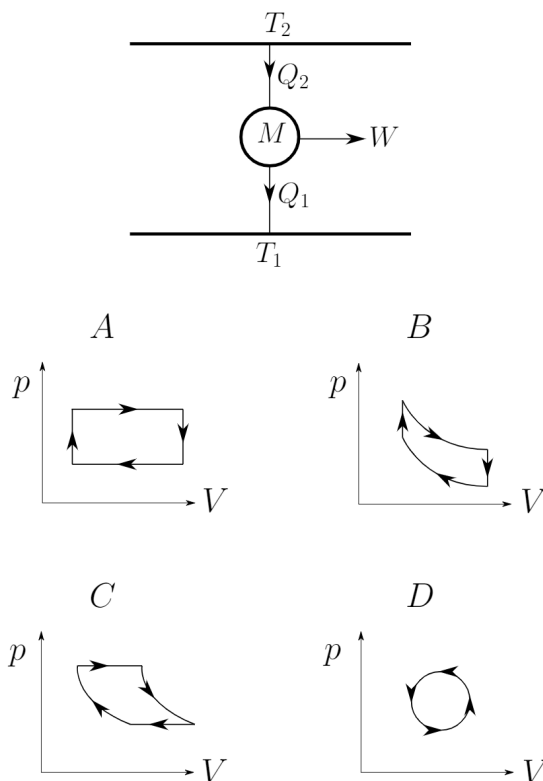
**Velg ett alternativ**

- ☐  $\Delta S = 0$
- ☐  $\Delta S = c_p m \ln \frac{1}{2}$
- ☐  $\Delta S = c_p m \ln 2$
- ☐  $\Delta S = c_p m \ln \frac{1}{4}$
- ☐  $\Delta S = c_p m \ln \frac{1}{4}$

[Sjekk svar](#)



## 24 Kopi av Ny oppgave



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

[Sjekk svar](#)

## 25 Kopi av Ny oppgave

Den termodynamiske identitet for et lukket system kan skrives på formen

$dF = -SdT - pdV$ . Hvilken av følgende Maxwellrelasjoner er en konsekvens av denne identiteten?

Velg ett alternativ

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

[Sjekk svar](#)

## 26 Ny oppgave

En todimensjonal harmonisk oscillator har en energifunksjon på formen:

$$E = \frac{1}{2m}(p_x^2 + p_y^2) + \frac{1}{2}m\omega^2(x^2 + y^2).$$

I følge ekvipartisjonsprinsippet hva er oscillatorens varmekapasitet  $C_V$ ?

Velg ett alternativ

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

[Sjekk svar](#)

## 27 Kopi av Ny oppgave

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

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

Velg ett alternativ

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

[Sjekk svar](#)

**28 Ny oppgave**

En ideell paramagnet med temperatur  $T$  og magnetisering  $M$  plassert i et eksternt magnetfelt  $H$  oppfyller tilstandsligningen  $M = A \frac{H}{T}$ . Her er  $A$  en materialavhengig konstant. Hva er varmekapasiteten  $C_H$ ?

Tips: Bruk samme substitusjoner som i forelesning  $p \rightarrow -\mu_0 H$  og  $V \rightarrow M$

**Velg ett alternativ**

- ☐  $C_H = A\mu_0 \left(\frac{H}{T}\right)^{1/2}$
- ☐  $C_H = A\mu_0 \left(\frac{H}{T}\right)$
- ☐  $C_H = A\mu_0 \left(\frac{H}{T}\right)^{3/2}$
- ☐  $C_H = A\mu_0 \left(\frac{H}{T}\right)^2$
- ☐  $C_H = 0$

[Sjekk svar](#)

## 29 Ny oppgave

I denne oppgaven skal vi se på en ideell paramagnet med temperatur  $T$ , og magnetisering  $M$ , plassert i et eksternt magnetfelt  $H$ .

Hvilken påstand er korrekt?

A Dersom temperaturen økes vil alltid magnetens entropi bli mindre

B Ved null temperatur og null ytre felt sørger de sterke dipol-vekselvirkningene for at magnetens magnetisering er gigantisk

C Dersom magneten er isolert fra omgivelsene kan den kjøles ned ved å minke det eksterne magnetfeltet.

D Dersom det eksterne feltet økes isotermt vil magnetens entropi bli større

E Ved å minke det eksterne feltet isotermt blir magnetens entropi mindre

**Velg ett alternativ**

- ☐ A
- ☐ B
- ☐ C
- ☐ D
- ☐ E

[Sjekk svar](#)

**30 Kopi av Ny oppgave**

Anta at en kvantemekanisk partikkel kun kan ha tre tillatte energier, som vi kaller  $E_1$ ,  $E_2 = 3E_1$  og  $E_3 = 5E_1$ . Her er  $E_1 > 0$  en positiv konstant. La oss definere  $P_n$  til å være sannsynligheten for at partikkelen har energi  $E_n$ , hvor  $n = 1, 2, 3$ .

Hva er  $P_3$  gitt at systemet har uendelig temperatur  $T = \infty$ ?

Velg ett alternativ

- ☐  $P_3 = 1$
- ☐  $P_3 = 5/9$
- ☐  $P_3 = 4/9$
- ☐  $P_3 = 1/3$
- ☐  $P_3 = 2/9$

[Sjekk svar](#)

**31 Kopi av Ny oppgave**

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 entalpien  $H$ ?

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

Velg ett alternativ

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

[Sjekk svar](#)

## 32 Kopi av Ny oppgave

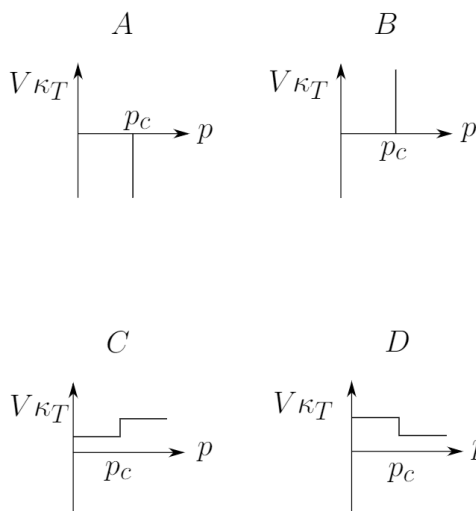
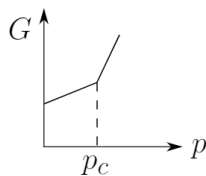
Hvis det i en blanding av vann ( $\text{H}_2\text{O}$ ), salt ( $\text{NaCl}$ ), og nitrogen ( $\text{N}_2$ ), er 3 faser i likevekt. Hvor mange frihetsgrader er det i blandingen?

Velg ett alternativ

- ☐ 6
- ☐ 5
- ☐ 4
- ☐ 3
- ☐ 2

[Sjekk svar](#)

### 33 Kopi av Ny oppgave



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 oppførselen til størrelsen  $V\kappa_T$  som funksjon av trykk?

Her er  $V$  og  $\kappa_T$  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  $p$ .

[Sjekk svar](#)



### 34 Ny oppgave

Van der Waals tilstandsligning kan skrives på formen

$$p = \frac{NkT}{V-Nb} - \frac{aN^2}{V^2}$$

anta i det følgende at van der Waals fluidet er i gassfasen.

Hva er den fysiske tolkningen av konstantene  $a > 0$  og  $b > 0$ ?

A)  $a$  er et mål på den **frastøtende** vekselvirkningen mellom gassmolekylene,  $b$  er volumet okkupert av **ett** gassmolekyl

B)  $a$  er et mål på den **attraktive** vekselvirkningen mellom gassmolekylene,  $b$  er volumet okkupert av **ett** gassmolekyl

C)  $a$  er et mål på den **attraktive** vekselvirkningen mellom gassmolekylene,  $b$  er volumet okkupert av **N** gassmolekyler

D)  $a$  er et mål på den **frastøtende** vekselvirkningen mellom gassmolekylene,  $b$  er volumet okkupert av **N** gassmolekyler

E) Konstantene  $a$  og  $b$  har **ingen** fysisk tolkning

**Velg ett alternativ**

- ☐ A
- ☐ B
- ☐ C
- ☐ D
- ☐ E

[Sjekk svar](#)

### 35 Kopi av Ny oppgave

I denne oppgaven skal vi se på en gass med tilstandsligningen

$$\left(p + \frac{aN^2}{V^2}\right)V = NkT.$$

Finnes det et ikke-trivielt kritisk punkt som oppfyller ulikheten  $a > 0$ ?

Merk: Et trivielt kritisk punkt oppstår når en av variablene  $\{p_c, V_c, T_c\}$  er lik null.

Velg ett alternativ

- ☐ Ja, når  $a = \frac{kT_c V_c}{N}$
- ☐ Ja, når  $a = \frac{kT_c V_c}{2N}$
- ☐ Ja, når  $a = \frac{kT_c V_c}{4N}$
- ☐ Ja, når  $a = \frac{kT_c V_c}{6N}$
- ☐ Nei

[Sjekk svar](#)

### 36 Ny oppgave

Anta at en væske fordampes til en ideell gass, og at den latente fordampningsvarmen  $L_f$  er konstant. Anta videre at volumet til den ideelle gassen er mye større enn volumet til væsken. I et  $(p, T)$  diagram skilles disse fasene av faselikevektskurven.

Hvilken av uttrykkene under er en god approksimasjon for faselikevektskurven?

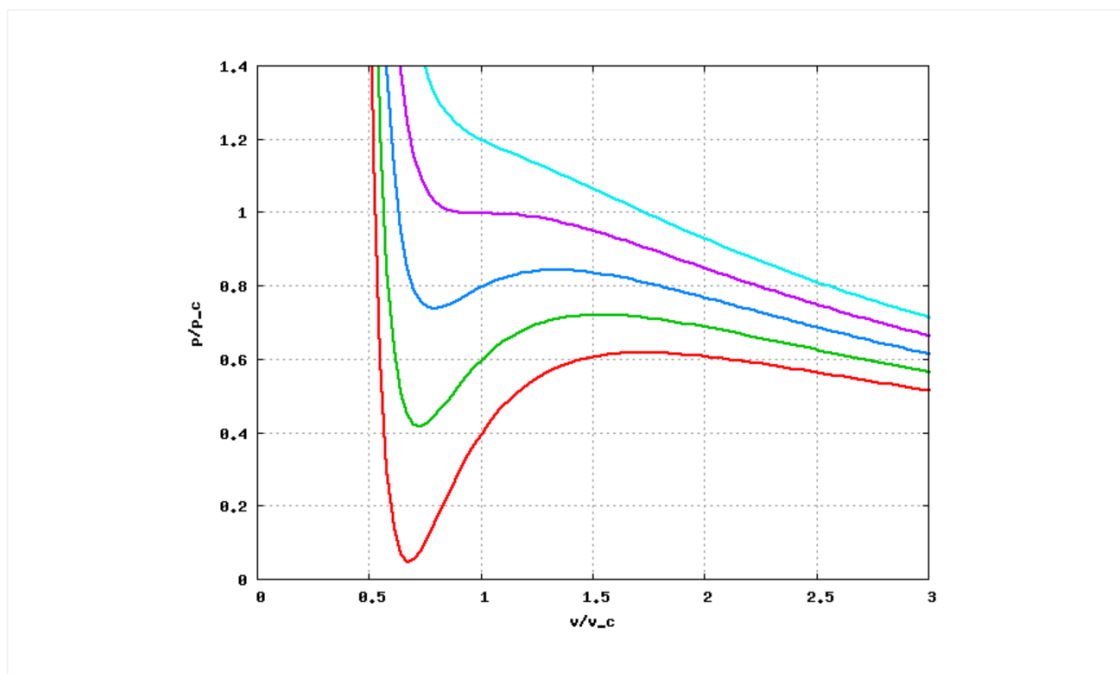
Velg ett alternativ

- ☐  $\ln \frac{p}{p_1} = -\frac{L_f}{Nk} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right)$
- ☐  $\ln \frac{p}{p_1} = -\frac{L_f}{Nk} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right)^2$
- ☐  $\frac{p}{p_1} = -\frac{L_f}{Nk} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right)$
- ☐  $\frac{p}{p_1} = -\frac{L_f}{Nk} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right)^2$
- ☐  $\ln \frac{p}{p_1} = -\frac{L_f}{Nk} \sqrt{\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1}}$

Her er  $(p_1, T_1)$  et kjent referansepunkt på faselikevektskurven.

[Sjekk svar](#)

## 37 Ny oppgave



Figuren viser forskjellige isotermer for en van der Waals tilstandsligning. For store temperaturer ser du at trykket avtar monotont med volumet. For en spesiell kritisk temperatur ser du at isotermen får et sadelpunkt. For lave temperaturer ser du at isotermen får et toppunkt og et bunnpunkt.

Hva er den korrekte fysiske tolkningen av denne kvalitative forandringen for minkende temperatur?

A Gasspartiklenes ladning endrer fortegn etterhvert som atomorbitalene blir presset sammen og begynner å overlapse

B Gasspartiklenes ladning endrer fortegn etterhvert som gassvolumet øker

C Systemet undergår en faseovergang

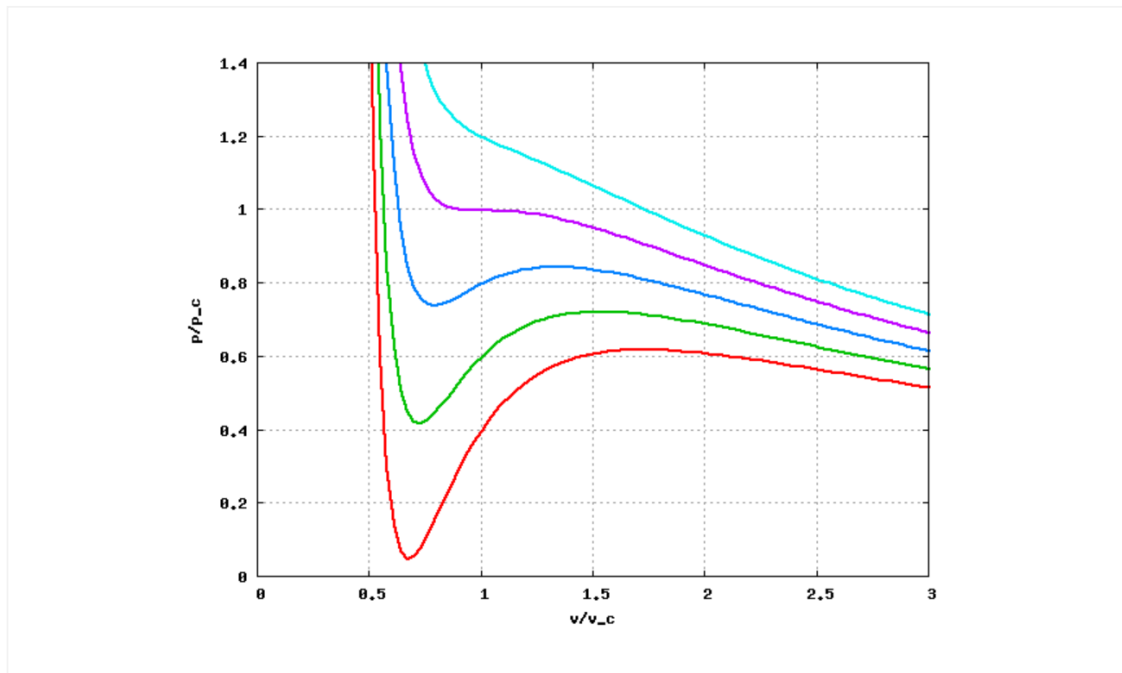
D Gasspartiklenes ladning endrer fortegn fordi trykket blir så lite at elektronene kan bevege seg fritt

E Dette kan ikke tolkes fysisk

**Velg ett alternativ**

- ☐ A
- ☐ B
- ☐ C
- ☐ D
- ☐ E

[Sjekk svar](#)

**38 Ny oppgave**

Hva er likevektstrykket i den midterste (se vedlagt figur) isoterme?

**Velg ett alternativ**

- ☐  $p/p_c \approx 0.2$
- ☐  $p/p_c \approx 0.4$
- ☐  $p/p_c \approx 0.6$
- ☐  $p/p_c \approx 0.8$
- ☐  $p/p_c \approx 1.0$

[Sjekk svar](#)

## 39 Ny oppgave

I denne oppgaven skal vi se på 2 faser av materialet flytende kvartz  $\text{SiO}_2$ . Hvis flytende kvartz avkjøles sakte, vil faststoff-fasen bli en krystall. Dersom flytende kvartz avkjøles fort, vil faststoff-fasen bli et glass.

Alle kvartzfaser er inkompressible, noe som betyr at  $p dV$ -arbeid kan neglisjeres. Derfor kan det kjemiske potensialet uttrykkes som

$$\mu = \frac{U-TS}{N}.$$

Det oppgis at:

- I krystallfasen er  $U = \frac{\alpha N}{4} T^4$  og  $S = \frac{N\alpha T^3}{3}$
- I glassfasen er  $U = \frac{\beta N}{2} T^2$  og  $S = \beta N T$

Her er  $\alpha$  og  $\beta$  eksperimentelt bestemte konstanter.

Krystallfasen og glassfasen kan eksistere sammen i likevekt ved en spesiell temperatur  $T_m > 0$ . Hva er et korrekt uttrykk for denne temperaturen?

**Velg ett alternativ**

- ☐  $T_m = \sqrt{\frac{\beta}{\alpha}}$
- ☐  $T_m = \sqrt{\frac{2\beta}{\alpha}}$
- ☐  $T_m = \sqrt{\frac{3\beta}{\alpha}}$
- ☐  $T_m = \sqrt{\frac{5\beta}{\alpha}}$
- ☐  $T_m = \sqrt{\frac{6\beta}{\alpha}}$

[Sjekk svar](#)

## 40 Ny oppgave

Anta at du har en tynn væske spredt ut over en uendelig stor to-dimensjonal flate, f.eks  $(x, y)$ -planet. Anta videre at det kjemiske potensialet for dette systemet er  $\mu(x, y) = A(x^2 + y^2)$  og at  $A = 1 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$ .

I hvilken retning vil partiklene i dette systemet bevege seg?

Velg ett alternativ

- ☐  $\hat{x} + \hat{y}$
- ☐  $\hat{x} - \hat{y}$
- ☐  $\hat{x} + 2\hat{y}$
- ☐ Mot origo
- ☐ Vekk fra origo

[Sjekk svar](#)

## 41 Ny oppgave

En fotongass med volum  $V$ , temperatur  $T$ , og partikkeltall  $N$  har en indre energi  $U = aVT^4$  og en tilstandsligning på formen  $p = \frac{a}{3}T^4$ . Her er  $a$  en konstant. Hva er fotongassens kjemiske potensial  $\mu$ ?

Tips:

Bruk Maxwellrelasjonen  $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V$  til å bestemme entropien  $S(V, T)$ , anta at integrasjonskonstanten er null. Bruk så definisjonen av Gibbs' frie energi.

Velg ett alternativ

- ☐  $\mu = \frac{a}{2N} VT^4$
- ☐  $\mu = \frac{a}{3N} VT^4$
- ☐  $\mu = \frac{a}{4N} VT^4$
- ☐  $\mu = \frac{3a}{4N} VT^4$
- ☐  $\mu = 0$

[Sjekk svar](#)

## 42 Ny oppgave

Et mol gass følger van der Waals tilstandsligning  $p = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$  og har varmekapasitet  $C_V = \frac{3}{2}R$ .

Gassens indre energi er  $U = U_0 + C_V T - \frac{a}{V}$  hvor  $U_0$  er en integrasjonskonstant.

Anta at vi ønsker å kjøle ned gassen ved å presse den i gjennom en porøs plugg (Joule-Thomson-eksperimentet). I starttilstanden (før vi presser den igjennom pluggen) er  $V_0 = 5b$  og  $T_0 = \frac{a}{2Rb}$ . I slutttilstanden kan gassens volum  $V_s$  regnes uendelig stort og temperaturen er  $T_s$ .

Finn sluttemperaturen  $T_s$  uttrykt ved  $T_0$ .

**Velg ett alternativ**

- ☐  $T_s = 0.38T_0$
- ☐  $T_s = 0.48T_0$
- ☐  $T_s = 0.58T_0$
- ☐  $T_s = 0.68T_0$
- ☐  $T_s = 0.78T_0$

[Sjekk svar](#)

## 43 Ny oppgave

Anta at et endimensjonalt materiale har en posisjonsavhengig varmeledningsevne  $\kappa(x) = e^{-x} \frac{\text{W}}{\text{m K}}$ . Hva er et korrekt uttrykk for den stasjonære varmeligningen?

Tips: Kontinuitetsligningen er  $\frac{\partial u}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{J} = 0$

**Velg ett alternativ**

- ☐  $0 = e^x \left( \frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{dT}{dx} \right)$
- ☐  $0 = \frac{d^2 T}{dx^2} - e^{-x} \frac{dT}{dx}$
- ☐  $0 = e^{-x} \frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{dT}{dx}$
- ☐  $e^{-x} = \left( \frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{dT}{dx} \right)$
- ☐  $0 = \frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{dT}{dx}$

[Sjekk svar](#)

## 44 Ny oppgave

I denne oppgaven skal vi se på temperaturprofilen rundt en kule med radius  $R$ . Anta at temperaturen på kulens overflate er konstant lik  $T_0$ . La kulas sentrum være plassert i origo og bruk kulekoordinater  $(r, \theta, \phi)$ .

Bestem  $T(r, \theta, \phi)$  for  $r > R$ .

Merk:

- Anta at  $T_0$  er så stor at du kan se bort fra eventuelle strålingsbidrag, j.f. Stefan-Boltzmanns lov.
- Anta at  $T(r \rightarrow \infty) = 0$
- $\nabla^2 T = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2}$

Velg ett alternativ

- ☐  $T(r) = T_0 \left( \frac{R}{r} \right)^{1/2}$
- ☐  $T(r) = T_0 \left( \frac{R}{r} \right)$
- ☐  $T(r) = T_0 \left( \frac{R}{r} \right)^{3/2}$
- ☐  $T(r) = T_0 \left( \frac{R}{r} \right)^2$
- ☐  $T(r) = T_0 \left( \frac{R}{r} \right)^{5/2}$

[Sjekk svar](#)



## 45 Kopi av Ny oppgave

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 antok at sannsynligheten for å hoppe til høyre var like stor som sannsynligheten for å hoppe til venstre.

Dersom vi nå antar at partiklene har svak positiv ladning og at vi setter på et elektrisk felt i positiv  $x$ -retning, vil situasjonen bli litt mer komplisert. Det vil nå være litt mer sannsynlig for partiklene å hoppe til høyre enn det vil være å hoppe til venstre. Konsekvensen av dette er at partiklene vil begynne å drifte til høyre med en konstant hastighet  $v_d$ .

Denne komplikasjonen fører til at sannsynlighetstettheten i en dimensjon blir

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

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

**Velg ett alternativ**

- ☐  $\langle x \rangle = -v_d t, \langle x^2 \rangle = 0$
- ☐  $\langle x \rangle = v_d t, \langle x^2 \rangle = (v_d t)^2 + 2Dt$
- ☐  $\langle x \rangle = (v_d t)^2, \langle x^2 \rangle = 0$
- ☐  $\langle x \rangle = -(v_d t)^2, \langle x^2 \rangle = (v_d t)^2 + 2Dt$
- ☐  $\langle x \rangle = 0, \langle x^2 \rangle = v_d t + \sqrt{2Dt}$

[Sjekk svar](#)



 Formelark