

Institutt for fysikk

**Eksamensoppgave i**  
**TFY4115 FYSIKK**  
for MTNANO, MTTK og MTELSYS

**Faglig kontakt under eksamen:** Institutt for fysikk v/Jon Andreas Støvneng  
**Tlf.:** 45 45 55 33

**Eksamensdato:** 17. august 2018

**Eksamenstid:** 09:00 - 13:00

**Tillatte hjelpemidler (kode C):**

- Bestemt enkel godkjent kalkulator.
- Rottmann: Matematisk formelsamling.
- Formelark i vedlegg.

**Annen informasjon:**

1. Denne eksamen teller 90 % på endelig karakter, laboratorierapport 10 %. For studenter med laboratorium godkjent 2016 og før teller denne eksamen 100 %.
2. Eksamenssettet består av kun flervalgsspørsmål. Hvert spørsmål teller like mye. For hvert spørsmål er kun ett av svarene rett. Kryss av for ditt svar, eller du kan svare blankt.  **Rett svar gir 5 poeng, galt svar eller flere svar gir 0 poeng, blank (ubesvart) gir 1 poeng.**
3. Innlevering: Kun ett ark med svartabell.
4. Oppgavene er utarbeidet av Arne Mikkelsen og vurdert av Jon Andreas Støvneng.

**Målform/språk:** Bokmål.

**Antall sider (uten framside):** 11.

**Antall sider vedlegg:** 2.

**Antall ark svartabell:** 2. (Ett ark leveres inn, det andre for din kopi.)

**Kontrollert av:**

Informasjon om trykking av eksamensoppgave:

Originalen er: 2-sidig; sort/hvitt

\_\_\_\_\_

Dato

\_\_\_\_\_

Sign

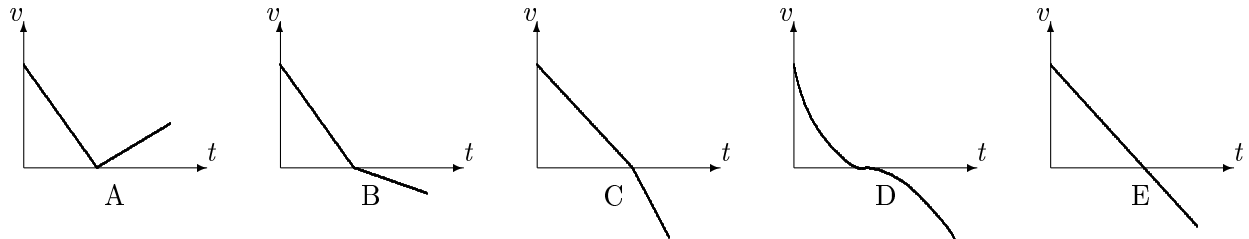
Merk! Studenter finner sensur i Studentweb. Har du spørsmål om din sensur må du kontakte instituttet ditt. Eksamenskontoret vil ikke kunne svare på slike spørsmål.

(blank side)

**1.** En konstant trekkraft virker på ei vogn som beveger seg uten startfart på et horisontalt underlag uten friksjon. Hvilken av de følgende påstander er riktig?

- A) Vogna får konstant fart
- B) Farten øker proporsjonalt med tida
- C) Den tilførte effekten er konstant
- D) Den kinetiske energien er proporsjonal med tida
- E) Bevegelsesmengden er konstant

**2.** En kloss sendes oppover et skråplan med startfart  $v_0$  og glir tilbake mot utgangspunktet. Friksjon gjør seg gjeldende. Nedenfor er vist fem grafer av fart  $v$  som funksjon av tid  $t$ . Hvilken graf beskriver bevegelsen best? Retning for positiv  $v$  avgjør du selv.



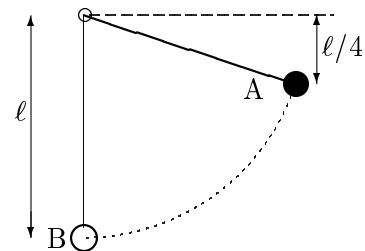
**3.** Ei kule med masse  $m = 0,500$  kg settes i fart med ei spent fjær med fjærkonstant  $k$ . Fjæra er før utskytinga klempt sammen  $b = 4,00$  cm fra likevektsstilling og dette gir umiddelbart etter utskytinga kula en fart  $v = 1,40$  m/s mot høyre. Det er ingen friksjon mellom kula og underlaget. Hva er verdien for fjærkonstanten  $k$ ?

- A) 210 N/m
- B) 425 N/m
- C) 613 N/m
- D) 755 N/m
- E) 810 N/m



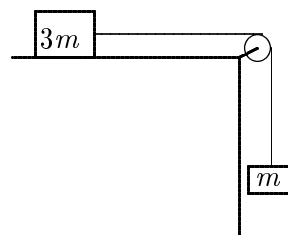
**4.** En masse  $m$  som henger i ei snor slippes fra stillstand i punktet A. Idet massen passerer det laveste punktet B, så er snorkrafta

- A)  $\frac{3}{2}mg$
- B)  $2mg$
- C)  $3mg$
- D)  $\frac{5}{2}mg$
- E) Ingen er riktige, svaret avhenger av snorlengden



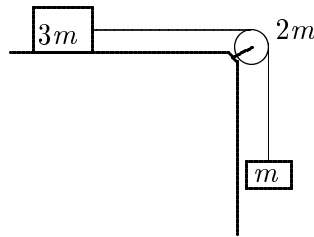
**5.** En masse  $m$  henger i ei snor. Snora er trekt over ei masseløs trinse for så å fortsette horisontalt til den er festa til en annen masse  $3m$  som ligger på et horisontalt bord. Se bort fra all friksjon. Masse  $m$  holdes i ro og slippes så. Når den har falt en distanse  $h$  vil den ha fått en fart  $v$  som kan uttrykkes ved formelen

- A)  $v = \sqrt{\frac{1}{4}gh}$
- B)  $v = \sqrt{\frac{1}{2}gh}$
- C)  $v = \sqrt{gh}$
- D)  $v = \sqrt{\frac{3}{2}gh}$
- E)  $v = \sqrt{2gh}$



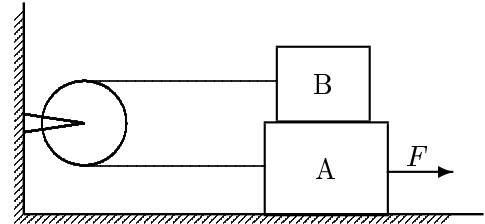
**6.** Hva blir farten  $v$  i oppgaven over hvis trinsa ikke er masseløs men har masse  $2m$ , radius  $R$  og treghetsmoment  $I = \frac{1}{2}2mR^2$ . Trinsa følger med snora uten å glippe.

- A)  $v = \sqrt{\frac{1}{3}gh}$   
 B)  $v = \sqrt{\frac{2}{5}gh}$   
 C)  $v = \sqrt{\frac{1}{2}gh}$   
 D)  $v = \sqrt{gh}$   
 E)  $v = \sqrt{\frac{5}{2}gh}$



(Beskrivelsen som følger gjelder de to neste oppgavene.)

De to klossene i figuren har masse henholdsvis  $m_A = 5,00$  kg og  $m_B = 3,00$  kg. Kloss B er plassert oppå kloss A. Kloss A ligger på et horisontalt underlag. Statisk friksjonskoeffisient mellom kloss A og B samt mellom kloss A og underlaget er  $\mu_s = 0,600$ . De to klossene er forbundet med en masseløs stram snor som er ført over en masseløs og friksjonsløs trinse.



På kloss A virker ei kraft  $F$  i retning som angitt i figuren. Krafta øker langsomt inntil klossene akkurat starter å gli.

**7.** Snorkrafta mot venstre på den øverste klossen B **umiddelbart før klossene starter å gli** er med to siffers nøyaktighet

- A) 0 N  
 B) 8,8 N  
 C) 18 N  
 D) 29 N  
 E) 59 N

**8.** Krafta  $F$  **umiddelbart før klossene starter å gli** er med to siffers nøyaktighet

- A) 18 N  
 B) 35 N  
 C) 65 N  
 D) 82 N  
 E) 90 N

**9.** Et hjul med radius  $R$  ruller uten å gli med konstant hastighet  $V$  bortover et flatt golv, i positiv  $x$ -retning. Loddrett opp velges som positiv  $y$ -retning. Banen til et punkt P på periferien til hjulet har da koordinatene  $x(t) = Vt - R \sin \omega t$  og  $y(t) = R - R \cos \omega t$ , dvs punktet P har kontakt med golvet ved tidspunktet  $t = 0$ . Hva er akselerasjonen  $a(t)$  til punktet P (i absoluttverdi)?

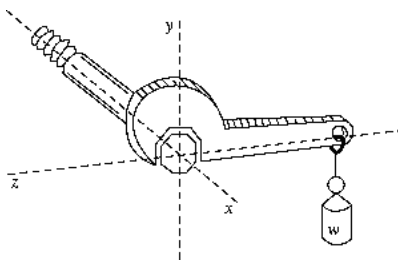
- A)  $a(t) = \omega^2 R \cos \omega t$   
 B)  $a(t) = \omega V \sin \omega t$   
 C)  $a(t) = (V/t) \sin^2 \omega t$   
 D)  $a(t) = V/t$   
 E)  $a(t) = V^2/R$

**10.** To identiske sirkulære skiver har en felles akse. Først roterer den ene skiva mens den andre er i ro. Når de to skivene bringes i kontakt med hverandre, vil de øyeblikkelig festes til hverandre. La  $L$  være det totale spinnet (dreieimpulsen) og  $E$  være den totale kinetiske energien til de to skivene. Hvilket av følgende utsagn er rett?

- A)  $L$  er uendra, men  $E$  er redusert til halvparten av opprinnelig verdi
- B)  $L$  er uendra, men  $E$  er redusert til fjerdeparten av opprinnelig verdi
- C)  $E$  og  $L$  er begge redusert til halvparten av deres opprinnelige verdier
- D)  $E$  og  $L$  er uendra fra verdiene før kontakten
- E)  $E$  er uendra, men  $L$  er redusert til halvparten av opprinnelig verdi

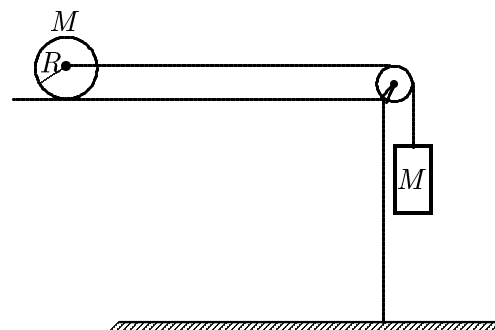
**11.** En skrue er påsatt et kraftmoment ved å henge en vekt  $w$  på enden av fastnøkkelen, som vist i figuren. Et koordinataksesystem er vist. Koordinataksen som kraftmomentvektoren peker er retta langs

- A)  $y$
- B)  $x$
- C)  $-y$
- D)  $-x$
- E)  $-z$



(Følgende oppsett og figur brukes i de tre følgende oppgavene.)

En massiv sylinder med masse  $M$ , radius  $R$  og treghetsmoment  $\frac{1}{2}MR^2$ , ligger på et horisontalt bord, se figuren. Sylindren kan rotere uten friksjon om sin egen akse, men det kan være friksjon mellom sylindren og bordflata. Til sylindrens akse er det festa ei snor på en slik måte at sylindren kan trekkes mot høyre uten å vri seg. I den andre enden er snora forbundet til en kloss også med masse  $M$  som henger fritt. Snora går via ei friksjonsløs og masseløs trinse og er hele tida stram og den kan regnes masseløs.



I de tre følgende spørsmål studerer vi tre ulike tilfeller av friksjon som angitt og du skal i hvert tilfelle finne systemets translasjonsakselerasjon  $a$ .

**12.** Det er ingen friksjon mellom sylindren og bordflata. Hva er akselerasjonen  $a$ ?

- A)  $g$
- B)  $\frac{1}{4}g$
- C)  $\frac{1}{2}g$
- D)  $\frac{2}{5}g$
- E)  $\frac{9}{20}g$

**13.** Det er stor nok friksjon mellom sylindren og bordflata til at sylindren ruller uten å glippe (rein rulling). Hva er akselerasjonen  $a$ ?

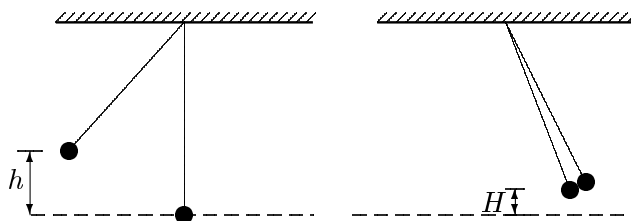
- A)  $g$
- B)  $\frac{1}{4}g$
- C)  $\frac{1}{2}g$
- D)  $\frac{2}{5}g$
- E)  $\frac{9}{20}g$

**14.** Friksjonskoeffisientene for statisk og kinematisk friksjon er lik  $\mu = 0,100$  og ikke stor nok til rein rulling for sylindren. Hva er akselerasjonen  $a$ ?

- A)  $g$
- B)  $\frac{1}{4}g$
- C)  $\frac{1}{2}g$
- D)  $\frac{2}{5}g$
- E)  $\frac{9}{20}g$

**15.** To like kuler henger i hver si snor med lik lengde. Ei av kulene blir sluppet fra en høyde  $h$  over bunnpunktet og treffer den andre kula på det laveste punktet i banen. Under kollisjonen (støtet) festes de to kulene til hverandre og beveger seg videre sammen. Hvilke(n) størrelse(r) er konstant under støtet? (Her er  $E$  total kinetisk energi,  $p$  total bevegelsesmengde og  $L$  totalt spinn om snorenes festepunkt i taket.)

- A)  $p$  og  $L$
- B)  $E$ ,  $p$  og  $L$
- C)  $p$
- D)  $E$  og  $p$
- E)  $E$  og  $L$

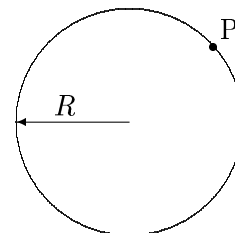


**16.** Vi betrakter samme kuler og størrelser som i oppgaven ovenfor. Etter kollisjonen når tyngdepunktet for de sammenfestede kulene opp til en høyde  $H$  som er gitt av

- A)  $h/4$
- B)  $h/2$
- C)  $2h/3$
- D)  $3h/4$
- E)  $h$

**17.** En homogen, kompakt sylinder med masse  $m$ , lengde  $L$  og radius  $R$  roterer om en akse gjennom punktet P og som er parallell med sylinderaksen. Tverrsnittet av sylinderen er vist i figuren. Hvis treghetsmomentet om sylinderaksen er  $\frac{1}{2}mR^2$ , så er treghetsmomentet om aksene gjennom P:

- A)  $\frac{2}{5}mR^2$
- B)  $\frac{1}{2}mR^2$
- C)  $\frac{2}{3}mR^2$
- D)  $mR^2$
- E)  $\frac{3}{2}mR^2$

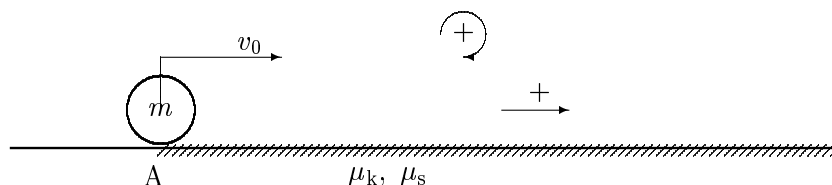


**18.** To massive baller (en stor og en liten) og en massiv sylinder slippes med null startfart på toppen av et skråplan. De ruller uten rullemotstand og det er ingen luftmotstand. Hvilken har den største farten ved bunnen av skråplanet og hvilken har den minste?

- A) Den lille ballen har størst, den store ballen har minst
- B) Sylinderen har størst, den lille ballen har minst
- C) Sylinderen har størst, de to ballene har den samme (og mindre) fart
- D) Begge ballene har samme største fart, sylinderen har mindre
- E) Det mangler opplysninger til å gi entydig svar

**19.** Ei kule med masse  $m$  og radius  $R$  cm glir uten å rulle inn fra et område uten friksjon (til venstre for A) til et område med statisk friksjonskoeffisient lik  $\mu_s$  og kinetisk friksjonskoeffisient lik  $\mu_k$ . Farten ved A er  $v_0$ . Når kula passerer punkt A vil den gradvis rotere mer og mer (slure) inntil den ruller uten å slure. Hva er kulas translasjonsakselerasjon i friksjonsområdet til høyre for A så lenge den slurer? Positiv retning mot høyre.

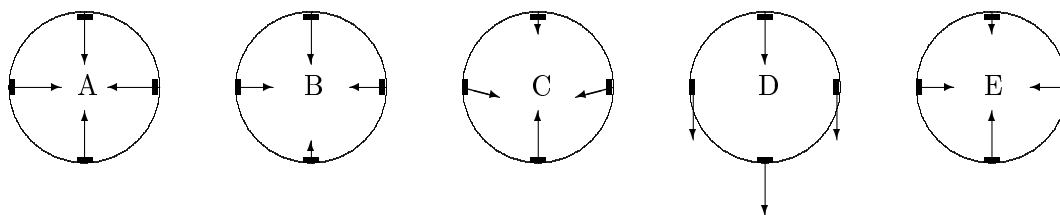
- A)  $-\mu_s g$
- B)  $+\mu_s g$
- C)  $-\mu_k g$
- D)  $+\mu_k g$
- E)  $-\mu_s g/R$



**20.** I samme oppgaven som ovenfor, hva er kulas vinkelakselerasjon i friksjonsområdet til høyre for A så lenge den slurer? Positiv rotasjonsretning i klokkeretningen.

- A)  $-\mu_k g/R$
- B)  $+\mu_k g/R$
- C)  $-\frac{1}{2}\mu_k g/R$
- D)  $+\frac{1}{2}\mu_k g/R$
- E)  $\frac{5}{2}\mu_k g/R$

**21.** Ei vogn har stor nok hastighet til å fullføre en vertikaltstilt sirkelformet "loop" i tyngdefeltet. Hvilken figur viser riktige akselerasjonsvektorer på de fire stedene på loopen (nederst, øverst, venstre og høyre)? Se bort fra friksjon.



**22.** Hvis du dobler massen til et svingende ideelt masse/fjær-system og beholder amplitude og fjærstivhet uendra, vil den totale mekaniske energien til systemet

- A) Forbli uendra.
- B) Øke med en faktor  $\sqrt{2}$ .
- C) Øke med en faktor 2.
- D) Øke med en faktor 3.
- E) Øke med en faktor 4.

**23.** Et legeme svinger harmonisk ifølge likninga

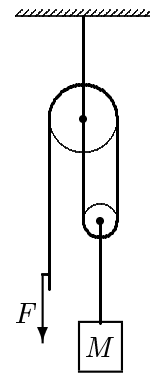
$$x(t) = 0,120 \text{ m} \cdot \sin(40\text{s}^{-1}t + \pi/2).$$

Maksimalhastigheten til legemet avrundet til to sifre er lik

- B) 0,120 m/s
- C) 1,2 m/s
- C) 4,8 m/s
- D) 7,5 m/s
- E) 192 m/s

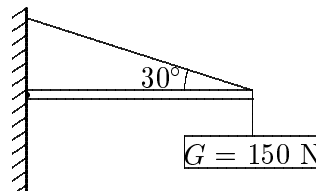
**24.** Et lodd med masse  $M$  er hengt opp i et system av snorer og to trinser som vist i figuren. Øverste snor er festa i taket. Trinsene er masseløse og kan gli friksjonsfritt om sin aksling. Ei kraft  $F$  nedover på venstre snorende holder systemet i ro. Da er krafta i snora som er festa i taket lik

- A)  $\frac{1}{3}Mg$
- B)  $\frac{1}{2}Mg$
- C)  $Mg$
- D)  $\frac{3}{2}Mg$
- E)  $2Mg$



**25.** Et skilt med vekt 150 N holdes oppe av en horisontal bjelke og et skrått tau, som vist i figuren. Bjelken har jamn tykkelse og vekt 100 N og er hengslet ved veggen. (En hengsling kan oppta krefter i alle retninger men ingen vridningskrefter (moment)). Den **vertikale komponenten** av krafta på bjelken fra hengslingen ved veggen har verdi nærmest

- A) 50 N
- B) 75 N
- C) 100 N
- D) 150 N
- E) 200 N



**26.** Termodynamikkens første lov kan skrives  $dU = \delta Q - \delta W$ . Vi betrakter reversible prosesser i ideell gass. For en isobar prosess er alltid

- A)  $dU = 0$
- B)  $\delta Q = 0$
- C)  $\delta W = 0$
- D)  $\delta Q + \delta W = 0$
- E) Ingen av disse er rett svar.

**27.** En ideell gass befinner seg i en tilstand A med volum  $V_1$ . Når volumet økes fra  $V_1$  til  $V_2$  i en **isoterm** prosess, gjør gassen et arbeid  $W_T$ . Hvis vi for den samme gassen i tilstand A øker volumet fra  $V_1$  til  $V_2$  i en **adiabatisk** prosess, gjør gassen et arbeid  $W_{ad}$ . Hvilken påstand er rett?

- A)  $W_{ad} = W_T$
- B)  $W_{ad} < W_T$
- C)  $W_{ad} > W_T$
- D) A, B eller C er rett avhengig av forholdet  $V_2/V_1$
- E) A, B eller C er rett avhengig av gassens temperatur.

**28.** En ideell gass befinner seg i en tilstand A med temperatur  $T_1$ . Når gasstemperaturen økes fra  $T_1$  til  $T_2$  i en **isokor** prosess, tilføres en varme  $Q_V$  til gassen. Hvis vi for den samme gassen i tilstand A øker temperaturen fra  $T_1$  til  $T_2$  i en **isobar** prosess, tilføres en varme  $Q_p$  til gassen. Hvilken av påstandene er rett?

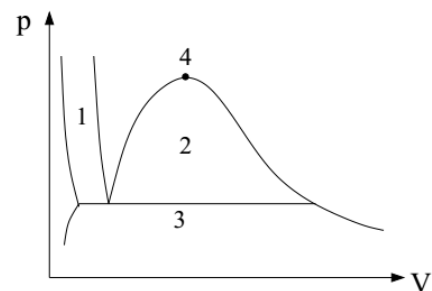
- A)  $Q_p > Q_V$     B)  $Q_p = Q_V$     C)  $0 < Q_p < Q_V$
- D)  $Q_p = 0$     E)  $Q_p < 0$  (varme ut av systemet)



- 29.** Vi tilfører 10 J varme til en idealgass ved konstant trykk. Da vil den indre energien
- øke med 10 J
  - øke med mindre enn 10 J
  - øke med mer enn 10 J
  - forbli uendra
  - svaret vil være avhengig av om gassen er enatomig eller toatomig
- 30.** Et metallstykke med temperaturen  $20^{\circ}\text{C}$  varmes opp slik at den indre energien doubles. Hva blir temperaturen?
- $20^{\circ}\text{C}$
  - $40^{\circ}\text{C}$
  - $313^{\circ}\text{C}$
  - $400^{\circ}\text{C}$
  - $586^{\circ}\text{C}$
- 31.** Hvis temperaturen i en ideell enatomig gass halveres, hvordan vil da molekylene  $v_{\text{rms}} = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$  (rms-hastighet) endres?
- $v_{\text{rms}}$  reduseres til  $1/2$  (halveres)
  - $v_{\text{rms}}$  blir uendra
  - $v_{\text{rms}}$  reduseres med ca. 30 prosent
  - $v_{\text{rms}}$  blir dobbelt så stor
  - $v_{\text{rms}}$  reduseres til  $1/4$
- 32.** To enatomige gasser, helium og neon, blir blanda i forholdet 2:1 og er i termisk likevekt ved temperatur  $T$ . Molar masse til neon er  $5x$  molar masse til helium. Hvis den midlere kinetiske energien per heliumatom er  $U$ , er den midlere kinetiske energien per neonatom lik
- $U$
  - $U/2$
  - $2U$
  - $5U$
  - $U/5$
- 33.** En varmekraftmaskin absorberer 64 kJ varme fra et varmt reservoar og gir fra seg 42 kJ varme til et kaldt reservoar for hvert omløp. Maskinens effektivitet er (avrundet til to gjeldende sifre):
- 30%
  - 34%
  - 38%
  - 52%
  - 66%

- 34.** Hva kalles punktet merket 4 i figuren?

- Kritisk punkt
- Trippelpunkt
- Kokepunkt
- Smeltepunkt
- Sublimeringspunkt



**35.** I en kretsprosess opptas i løpet av én syklus 12 000 J varme og det avgis 8 000 J varme. Hva er prosessens virkningsgrad (effektivitet)  $\eta$ ?

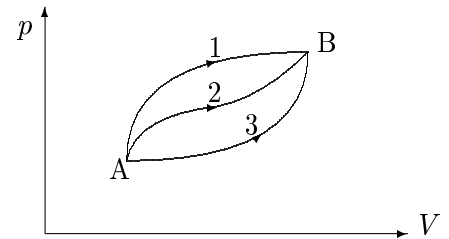
- A) 133 %
- B) 75 %
- C) 66 %
- D) 33 %
- E) 25 %

**36.** I en ideell gass ved normale termodynamiske betingelser er varmekapasiteten per mol av størrelsesorden

- A)  $N_A$
- B)  $R/N_A$
- C)  $R$
- D)  $k_B$
- E)  $k_B/N_A$

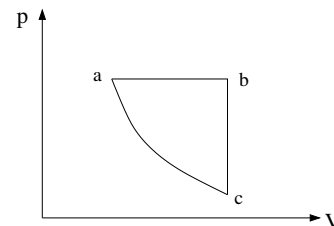
**37.** Et termodynamisk system kan bli ført fra tilstand A til tilstand B langs de tre mulige prosesser vist i  $pV$ -diagrammet. Hvis tilstand B har høyere indre energi  $U$  enn tilstand A, hvilken av prosessvegene i figuren har den største absoluttverdien  $|Q|$  for varmen som utveksles under prosessen?

- A) prosess 1
- B) prosess 2
- C) prosess 3
- D) lik for alle prosesser
- E) det er ikke nok informasjon til å gi svar.

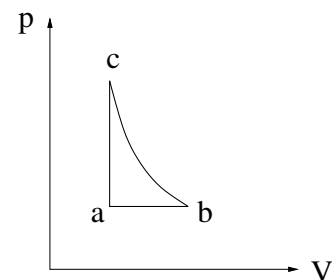


**38.** Figuren viser en kretsprosess for en ideell gass, bestående av en isobar, en isokor og en adiabat. Ranger temperaturene i a, b og c.

- A)  $T_b > T_a = T_c$
- B)  $T_c > T_b > T_a$
- C)  $T_b > T_a > T_c$
- D)  $T_c > T_a > T_b$
- E)  $T_c = T_a > T_b$



**39.** Figuren viser en reversibel kretsprosess for en ideell gass, bestående av en isobar, en isokor og en isentropisk (adiabatisk) prosess. Ranger entropiene  $S_a$ ,  $S_b$  og  $S_c$  til den ideelle gassen i de tre hjørnene merket hhv. a, b og c. (Oppgitt: For isokor prosess er  $dS = C_V dT/T$ .)

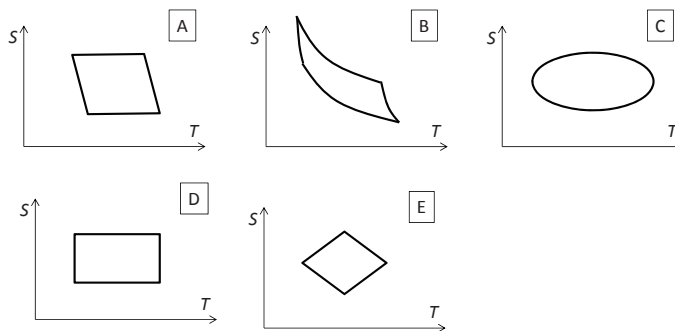


- A)  $S_a < S_c < S_b$
- B)  $S_a < S_b = S_c$
- C)  $S_a = S_b = S_c$
- D)  $S_a < S_b < S_c$
- E)  $S_a > S_b = S_c$

**40.** Når  $S(T, V) = nC_V \ln(T/T_0) + nR \ln(V/V_0) + S_0$  for  $n$  mol ideell gass, hva blir  $S(p, V)$  for den samme gassen? (Her er  $S_0 = S(T_0, V_0) = S(p_0, V_0)$ .)

- A)  $S(p, V) = nC_p \ln(V/V_0) + nR \ln(p/p_0) + S_0$
- B)  $S(p, V) = nC_p \ln(V/V_0) - nR \ln(p/p_0) + S_0$
- C)  $S(p, V) = nC_p \ln(p/p_0) + nR \ln(V/V_0) + S_0$
- D)  $S(p, V) = nC_V \ln(p/p_0) - nR \ln(V/V_0) + S_0$
- E)  $S(p, V) = nC_p \ln(V/V_0) + nC_V \ln(p/p_0) + S_0$

**41.** Hvilken av grafene A-E viser best en Carnotprosess i et  $(S, T)$ -diagram?

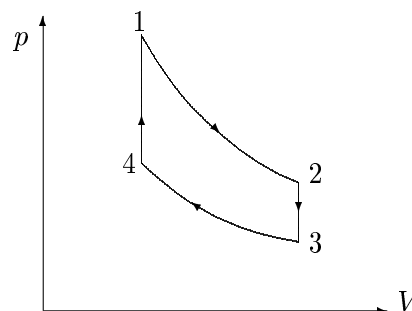


**42.** Ett mol ideell gass er innestengt i en varmeisolert beholder med volum 3,0 liter. En vegg fjernes hurtig, slik at gassen utvider seg isotermt (og irreversibelt), til et volum 15,0 liter. Hva blir endringen  $\Delta S$  i gassens entropi?

- A)  $\Delta S = 5,2 \text{ J/K}$
- B)  $\Delta S = 13,4 \text{ J/K}$
- C)  $\Delta S = -3,6 \text{ J/K}$
- D)  $\Delta S = 34,7 \text{ J/K}$
- E)  $\Delta S = -34,7 \text{ J/K}$

**43.** En kretsprosess består av to isotermer og to isokore prosesser (se figuren). Anta at vi har 1,00 mol av en enatomig gass som følger en kretsprosessen med følgende parametre  $V_1 = V_4 = 1,00 \text{ dm}^3$ ,  $V_2 = V_3 = 3,00 \text{ dm}^3$ ,  $T_1 = T_2 = T_H = 600 \text{ K}$  og  $T_3 = T_4 = T_L = 300 \text{ K}$ . Hvor mye varme blir tilført langs isoterme  $T_H$ ?

- A) 3,5 kJ
- B) 4,7 kJ
- C) 5,5 kJ
- D) 6,8 kJ
- E) 8,1 kJ

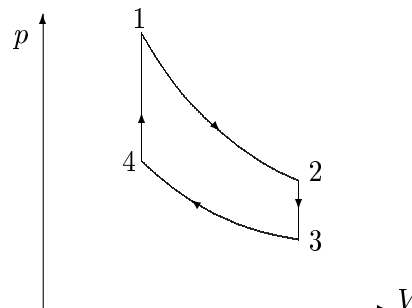


**44.** Hva er virkningsgraden til syklusen beskrevet i forrige oppgave? Anta at varmen som avgis i den ene isokore prosessen kan absorberes med neglisjerbart tap i den andre isokore prosessen, slik at varmen som overføres i disse prosessene ikke påvirker virkningsgraden.

- A) 0,30    B) 0,34    C) 0,50    D) 0,62    E) 0,70

**45.** Anta den samme kretsprosessen som i de to foregående oppgavene, men med andre verdier: varmeoverføringen i de isoterme prosessene er henholdsvis  $Q_H = 10,0 \text{ kJ}$  og  $Q_L = 5,0 \text{ kJ}$ , varmeoverføringen i de isokore prosessene er  $6,0 \text{ kJ}$ ,  $T_H = 1000 \text{ K}$  og  $T_L = 500 \text{ K}$ . Hva er den totale endringen i arbeidssubstansens entropi gjennom en full syklus?

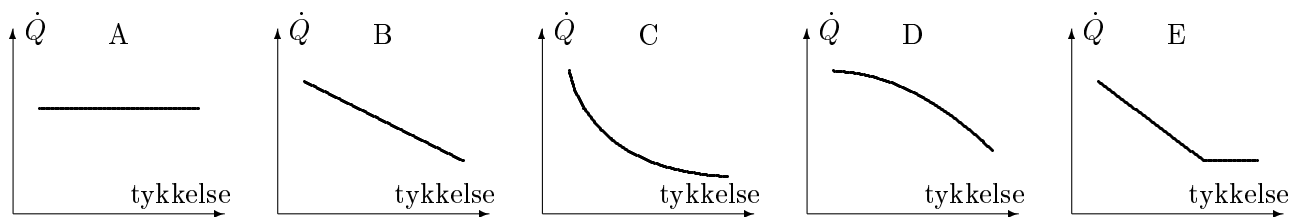
- A)  $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ J/K}$
- B)  $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ J/K}$
- C)  $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ J/K}$
- D)  $3,0 \cdot 10^{-3} \text{ J/K}$
- E)  $0 \text{ J/K}$



**46.** Et legeme har temperatur  $227^\circ\text{C}$  og har en gitt netto varmeutstråling  $P = P_{\text{ut}} - P_{\text{inn}}$ . Hva blir legemets netto utstråling  $P'$  hvis legemets temperatur øker til  $427^\circ\text{C}$ ? Omgivelsene har konstant temperatur  $0^\circ\text{C}$ . Både legemet og omgivelsene stråler som et svart legeme.

- A)  $P' = 4,1 \cdot P$
- B)  $P' = 3,8 \cdot P$
- C)  $P' = 12,5 \cdot P$
- D)  $P' = 8,3 \cdot P$
- E)  $P' = 6,7 \cdot P$

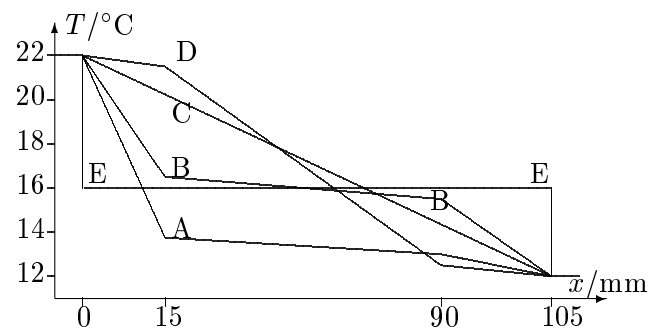
**47.** La  $\dot{Q}$  (i  $\text{J/s} = \text{W}$ ) være den totale varmestrømmen gjennom et isolasjonsmateriale pga. varmeledning gjennom materialet. I et forsøk tester du isolasjonsegenskapene for ulike tykkelser av materialet. Du måler  $\dot{Q}$  mens temperaturen på de to ytterflater holdes konstant. Hvilken av grafene A-E viser best varmestrømmen  $\dot{Q}$  som funksjon av tykkelsen til materialet?



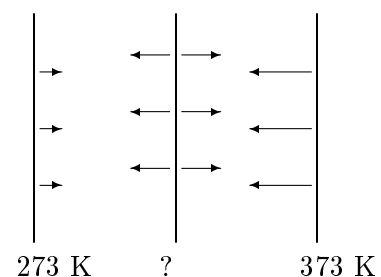
**48.** En vegg mellom ei stue og et soverom har 15 mm tykke gipsplater på begge sider av et 75 mm tykt lag med glassvatt ("glava"). Stuetemperaturen er  $22^\circ\text{C}$  og soveromstemperaturen er  $12^\circ\text{C}$ .

Varmeledningsevne:  $\kappa_{\text{gips}} = 0,25 \text{ W}/(\text{m K})$  og  $\kappa_{\text{glava}} = 0,035 \text{ W}/(\text{m K})$ .

Hvilken kurve (A,B,C,D,E) viser korrekt temperaturprofil gjennom veggens ved stasjonære (dvs. tidsuavhengige) forhold?



**49.** To (tilnærmet uendelig) store parallelle metallplater holdes på fast temperatur hhv.  $273 \text{ K}$  og  $373 \text{ K}$ . (Disse platene kan med andre ord betraktes som to varmereservoarer.) En tredje metallplate settes inn mellom disse, som vist i figuren. Alle platene kan betraktes som perfekt svarte legemer som emitterer elektromagnetisk stråling ("varmestråling") i begge retninger, indikert med pilene i figuren. Det er vakuum i rommet mellom platene.



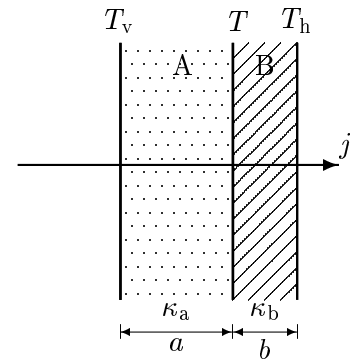
Når stasjonære (dvs. tidsuavhengige) forhold er etablert, er temperaturen på den midterste plata

- A)  $283 \text{ K}$
- B)  $323 \text{ K}$
- C)  $334 \text{ K}$
- D)  $363 \text{ K}$
- E)  $646 \text{ K}$

**50.** Ei stor plate er sammensatt av to lag, A og B, med ulikt materiale. Lag A er dobbelt så tykt som lag B:  $a = 2b$ , termisk ledningsevne til materialet i A er dobbelt så stor som den til materialet i B:  $\kappa_a = 2\kappa_b$ . Temperaturen på venstre overflate av A er  $T_v = 80^\circ\text{C}$ , og temperaturen på høyre overflate av B er  $T_h = 10^\circ\text{C}$ .

Temperaturen  $T$  på grenseflata mellom de to materialene når stasjonære forhold er etablert er med to siffrers nøyaktighet

- A)  $24^\circ\text{C}$
- B)  $33^\circ\text{C}$
- C)  $45^\circ\text{C}$
- D)  $57^\circ\text{C}$
- E)  $66^\circ\text{C}$



(blank side)

**FORMELLISTE.**

Formlenes gyldighetsområde og symbolenes betydning antas å være kjent. Symbolbruk som i forelesningene.

**Fysiske konstanter:**

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \quad u = \frac{1}{12} m(^{12}\text{C}) = \frac{10^{-3} \text{ kg/mol}}{N_A} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \quad R = N_A k_B = 8,31 \text{ J mol}^{-1} \text{K}^{-1} \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{K}^{-4}$$

$$c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \quad 0^\circ\text{C} = 273 \text{ K} \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

**SI-enheter:**

**Fundamentale SI-enheter:** meter (m) sekund (s) kilogram (kg) ampere (A) kelvin (K) mol

**Noen avledede SI-enheter:**  $\text{N} = \text{kg m/s}^2$   $\text{Pa} = \text{N/m}^2$   $\text{J} = \text{N m}$   $\text{W} = \text{J/s}$   $\text{rad} = \text{m/m} = 1$   $\text{Hz} = \text{omdr/s}$

**Varianter:**  $\text{kWh} = 3,6 \text{ MJ}$   $\text{m/s} = 3,6 \text{ km/h}$   $\text{atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1013 \text{ hPa} = 1013 \text{ mb}$   $1 \text{ cal} = 4,19 \text{ J}$

**Dekadiske prefikser:**  $\text{p} = 10^{-12}$   $\text{n} = 10^{-9}$   $\mu = 10^{-6}$   $\text{m} = 10^{-3}$   $\text{h} = 10^2$   $\text{k} = 10^3$   $\text{M} = 10^6$   $\text{G} = 10^9$   $\text{T} = 10^{12}$

**Klassisk mekanikk:**

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}(\vec{r}, t) \quad \text{der} \quad \vec{p}(\vec{r}, t) = m\vec{v} = m\dot{\vec{r}} \quad \vec{F} = m\vec{a}$$

$$\text{Konstant } \vec{a}: \quad \vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t \quad \vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0t + \frac{1}{2}\vec{a}t^2 \quad v^2 - v_0^2 = 2\vec{a} \cdot (\vec{r} - \vec{r}_0)$$

$$\text{Konstant } \vec{\alpha}: \quad \omega = \omega_0 + \alpha t \quad \theta = \theta_0 + \omega_0t + \frac{1}{2}\alpha t^2 \quad \omega^2 - \omega_0^2 = 2\alpha(\theta - \theta_0)$$

$$\text{Arbeid: } dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} \quad W_{12} = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{s} \quad \text{Kinetisk energi: } E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_p(\vec{r}) = \text{potensiell energi (tyngde: } mgh, \text{ fjær: } \frac{1}{2}kx^2) \quad E = \frac{1}{2}m\vec{v}^2 + E_p(\vec{r}) + \text{friksjonsarbeide} = \text{konstant}$$

$$\text{Konservativ kraft: } \vec{F} = -\vec{\nabla}E_p(\vec{r}) \quad \text{f.eks. } F_x = -\frac{\partial}{\partial x}E_p(x, y, z) \quad \text{Hookes lov (fjær): } F_x = -kx$$

$$\text{Tørr friksjon: } |F_f| \leq \mu_s F_\perp \text{ eller } |F_f| = \mu_k F_\perp \quad \text{Våt friksjon: } \vec{F}_f = -k_f \vec{v} \text{ eller } \vec{F}_f = -bv^2 \hat{v}$$

$$\text{Kraftmoment (dreiemoment) om origo: } \vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}, \quad \text{Arbeid: } dW = \tau d\theta$$

$$\text{Betingelser for statisk likevekt: } \Sigma \vec{F}_i = \vec{0} \quad \Sigma \vec{\tau}_i = \vec{0}, \quad \text{uansett valg av referansepunkt for } \vec{\tau}_i$$

$$\text{Massemidelpunkt (tyngdepunkt): } \vec{R} = \frac{1}{M} \sum m_i \vec{r}_i \rightarrow \frac{1}{M} \int \vec{r} dm \quad M = \sum m_i$$

$$\text{Kraftimpuls: } \int_{\Delta t} \vec{F}(t) dt = m\Delta \vec{v} \quad \text{Alle støt: } \sum \vec{p}_i = \text{konstant} \quad \text{Elastisk støt: } \sum E_i = \text{konstant}$$

$$\text{Vinkelhastighet: } \vec{\omega} = \omega \hat{z} \quad |\vec{\omega}| = \omega = \dot{\phi} \quad \text{Vinkelakselerasjon: } \vec{\alpha} = d\vec{\omega}/dt \quad \alpha = d\omega/dt = \ddot{\phi}$$

$$\text{Sirkelbev.: } v = r\omega \quad \text{Sentripetalaks.: } \vec{a} = -v\omega \hat{r} = -\frac{v^2}{r} \hat{r} = -r\omega^2 \hat{r} \quad \text{Baneaks.: } a_\theta = \frac{dv}{dt} = r \frac{d\omega}{dt} = r\alpha$$

$$\text{Spinn (dreieimpuls) og spinnsatsen: } \vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} \quad \vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt}, \quad \text{stive legemer: } \vec{L} = I\vec{\omega} \quad \vec{\tau} = I \frac{d\vec{\omega}}{dt}$$

$$\text{Spinn for rullende legeme: } \vec{L} = \vec{R}_{\text{cm}} \times M\vec{V} + I_0\vec{\omega}, \quad \text{Rotasjonsenergi: } E_{k,\text{rot}} = \frac{1}{2} I \omega^2,$$

$$\text{der treghetsmoment } I \stackrel{\text{def}}{=} \sum m_i r_i^2 \rightarrow \int r^2 dm \quad \text{med } r = \text{avstanden fra } m_i \text{ (dm) til rotasjonsaksen.}$$

Med akse gjennom massemidelpunktet:  $I \rightarrow I_0$ , og da gjelder:

$$\text{kule: } I_0 = \frac{2}{5} MR^2 \quad \text{kuleskall: } I_0 = \frac{2}{3} MR^2 \quad \text{sylder/skive: } I_0 = \frac{1}{2} MR^2 \quad \text{åpen sylinder/ring: } I_0 = MR^2$$

$$\text{lang, tynn stav: } I_0 = \frac{1}{12} M\ell^2 \quad \text{Parallellakse teoremet (Steiners sats): } I = I_0 + Mb^2$$

Udempet svingning:  $\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$       $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$       $f_0 = \frac{1}{T} = \frac{\omega_0}{2\pi}$      Masse/fjær:  $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$

Tyngdependel:  $\ddot{\theta} + \omega_0^2 \sin \theta = 0$ , der  $\sin \theta \approx \theta$      Fysisk:  $\omega_0 = \sqrt{\frac{mgd}{I}}$      Matematisk:  $\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{\ell}}$

Dempet svingning:  $\ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$      Masse/fjær:  $\omega_0 = \sqrt{k/m}$       $\gamma = b/(2m)$

$\gamma < \omega_0$  Underkritisk dempet:  $x(t) = A e^{-\gamma t} \cos(\omega_d t + \phi)$      med  $\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}$

$\gamma > \omega_0$  Overkritisk dempet:  $x(t) = A e^{-\gamma t} e^{\alpha t} + B e^{-\gamma t} e^{-\alpha t}$      med  $\alpha = \sqrt{\gamma^2 - \omega_0^2}$ ,

$\gamma = \omega_0$  Kritisk dempet:  $x(t) = (A + tB) e^{-\gamma t}$

Tvungne svingninger:  $\ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + \omega_0^2 x = f_0 \cos \omega t$ , med (partikulær)løsning når  $t \gg \gamma^{-1}$  :

$$x(t) = x_0 \cos(\omega t - \delta), \quad \text{der } x_0(\omega) = \frac{f_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\gamma^2 \omega^2}} \quad \tan \delta = \frac{2\gamma\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

---

### Termisk fysikk:

---

$n =$  antall mol      $N = nN_A =$  antall molekyler      $n_f =$  antall frihetsgrader

$\alpha = \ell^{-1} d\ell/dT$       $\beta = V^{-1} dV/dT$

$\Delta U = Q - W$       $C = \frac{1}{n} \frac{dQ}{dT}$       $C' = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT}$       $L'_s = \frac{dQ_s}{dm}$       $L'_f = \frac{dQ_f}{dm}$

$pV = nRT = Nk_B T$       $pV = N \frac{2}{3} \langle E_k \rangle$       $\langle E_k \rangle = \frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} k_B T$       $W = p\Delta V$       $W = \int_1^2 p dV$

Ideell gass:  $C_V = \frac{1}{2} n_f R$       $C_p = \frac{1}{2} (n_f + 2) R = C_V + R$       $\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{n_f + 2}{n_f}$       $dU = C_V n dT$

Adiabat:  $Q = 0$      Ideell gass:  $pV^\gamma = \text{konst.}$       $TV^{\gamma-1} = \text{konst.}$       $T^\gamma p^{1-\gamma} = \text{konst.}$

Virkningsgrader for varmekraftmaskiner:  $\eta = \frac{W}{Q_{\text{inn}}}$      Carnot:  $\eta_C = 1 - \frac{T_L}{T_H}$      Otto:  $\eta_O = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$

Effektfactorer: Kjøleskap:  $\eta_K = \left| \frac{Q_{\text{inn}}}{W} \right| \xrightarrow{\text{Carnot}} \frac{T_L}{T_H - T_L}$      Varmepumpe:  $\eta_V = \left| \frac{Q_{\text{ut}}}{W} \right| \xrightarrow{\text{Carnot}} \frac{T_H}{T_H - T_L}$

Clausius:  $\sum \frac{Q}{T} \leq 0$       $\oint \frac{dQ}{T} \leq 0$      Entropi:  $dS = \frac{dQ_{\text{rev}}}{T}$       $\Delta S_{12} = \int_1^2 \frac{dQ_{\text{rev}}}{T}$

1. og 2. hovedsetning:  $dU = dQ - dW = T dS - p dV$

Entropiendring 1  $\rightarrow$  2 i en ideell gass:  $\Delta S_{12} = nC_V \ln \frac{T_2}{T_1} + nR \ln \frac{V_2}{V_1}$

Varmeledning:  $\dot{Q} = \frac{\kappa A}{\ell} \Delta T = \frac{1}{R} \Delta T$       $j_x = -\kappa \frac{\partial T}{\partial x}$       $\vec{j} = -\kappa \vec{\nabla} T$      Varmeovergang:  $j = \alpha \Delta T$

Stråling:  $j_s = \epsilon \sigma T^4 = a \sigma T^4 = (1 - r) \sigma T^4$

Planck:  $j_s(T) = \int_0^\infty g(\lambda, T) d\lambda$      der  $j_s$ 's frekvensspekter  $= g(\lambda, T) = \frac{dj_s}{d\lambda} = 2\pi h c^2 \cdot \frac{\lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{hc}{k_B T \lambda}\right) - 1}$

Wiens forskyvningslov:  $\lambda_{\text{max}} T = 2898 \mu\text{m K}$



Kandidatnummer:

Oppg	A	B	C	D	E	Oppg	A	B	C	D	E
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	26	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	27	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	28	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	29	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	31	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	32	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	33	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	34	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	35	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	36	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	37	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	38	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	39	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	40	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	41	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	43	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	44	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	45	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	46	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	47	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	48	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	49	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

NB: Kontroller at du har satt maksimalt ETT kryss for HVER av de 50 oppgavene!