

Institutt for fysikk

Eksamensoppgave i TFY4115 Fysikk

Faglig kontakt under eksamen: Jon Andreas Støvneng

Tlf.: 45 45 55 33

Eksamensdato: 18. desember 2013

Eksamenstid (fra-til): 0900-1300

Hjelpemiddelkode/Tillatte hjelpemidler: C (Godkjent kalkulator; Rottmann, Matematisk formelsamling)

Annen informasjon: Kun ett av svarene er rett på hver av de 50 oppgavene. Du krysser av for A, B, C eller D i tabellen på side 17. Rett svar gir 2 poeng. Feil svar, flere svar eller ingen svar gir 0 poeng. Husk å skrive på riktig kandidatnummer i boksen over svartabellen på side 17. Det er tilstrekkelig å levere inn det ene arket med utfylt svartabell.

Opgavene er utarbeidet av Jon Andreas Støvneng.

Sensuren er klar senest 18. januar, sannsynligvis lenge før.

Målform/språk: Bokmål

Antall sider med oppgaver: 12 (Side 1 – 12)

Antall sider vedlegg (formler etc): 4 (Side 13 – 16)

Antall sider med svartabell og julehilsen: 2 (Side 17 – 18)

I alt 9 dobbeltsidige ark i tillegg til forsidearket.

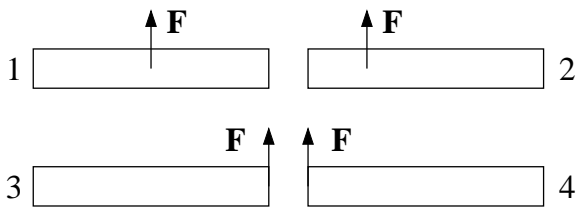
Kontrollert av:

Dato

Sign

1) Panama gikk offisielt over fra US gallons til liter den 30. april i år. Bensinprisen var da ca 4 US dollar pr US gallon. Hva tilsvarer dette i kroner pr liter, når 1 krone er ca 0.164 US dollar og 1 liter er ca 0.264 US gallons?

- A) 1.75 B) 3.37 C) 6.44 D) 9.10

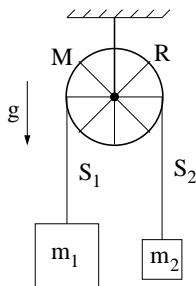


2) Fire like staver utsettes for samme ytre kraft F , men med ulike angrepspunkt. Ranger akselerasjonene a_i til massesenteret til stav nr i .

- A) $a_1 > a_2 > a_3 = a_4$ B) $a_1 = a_2 = a_3 = a_4$
 C) $a_1 = a_2 > a_3 = a_4$ D) $a_1 < a_2 < a_3 = a_4$

3) Stavene i oppgave 2 er i ro ved tidspunktet $t = 0$. Deretter virker den konstante kraften F (som vist i figuren) en kort tid Δt (slik at ingen av stavene har rotert så mye som 90° ved $t = \Delta t$). Ranger stavenes totale kinetiske energi K_i ved $t = \Delta t$.

- A) $K_1 > K_2 > K_3 = K_4$ B) $K_1 = K_2 = K_3 = K_4$
 C) $K_1 = K_2 > K_3 = K_4$ D) $K_1 < K_2 < K_3 = K_4$



To lodd med masser m_1 og $m_2 < m_1$ er forbundet med ei tilnærmet masseløs snor som er lagt over et hjul med masse M og radius R . Eikene er tilnærmet masseløse, slik at hjulets treghetsmoment om akslingen er $I_0 = MR^2$. Hjulet er festet i taket og kan rotere friksjonsfritt om akslingen som går gjennom hjulets massesenter. I oppgave 4 – 6 antar vi at det er tilstrekkelig friksjon mellom snora og hjulet til at snora ikke glir på hjulet. I oppgave 7 antar vi null friksjon mellom snor og hjul. Tyngdens akselerasjon er g .

4) Hva kan du si om snordragene S_1 og S_2 ?

- A) $S_1 = S_2$ B) $S_1 > S_2$ C) $S_1 < S_2$
 D) Intet kan sies om S_1 i forhold til S_2 så lenge snora ikke glir på hjulet.

5) Ved å måle loddenes hastighet (\pm) v kan du umiddelbart slå fast at hjulet roterer med vinkelhastighet

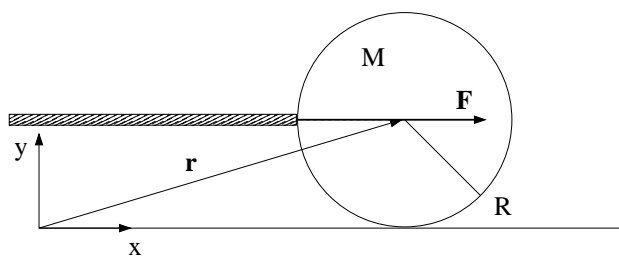
- A) v^2/R B) v/R C) vR D) R/v

6) Hva er nå systemets totale dreieimpuls relativt hjulets massesenter?

- A) $(M + m_1 + m_2)vR$ B) $(M + m_1 - m_2)vR$ C) $(m_1 + m_2)vR$ D) $\sqrt{M^2 + m_1^2 + m_2^2}vR$

7) Anta nå null friksjon mellom snor og hjul, og la $\beta < 1$ betegne forholdet mellom de to loddenes masser, dvs $\beta = m_2/m_1$. Hva blir da loddenes akselerasjon a ?

- A) $a = g$ B) $a = g(1 + \beta)/(1 - \beta)$ C) $a = g(1 - \beta)$ D) $a = g(1 - \beta)/(1 + \beta)$

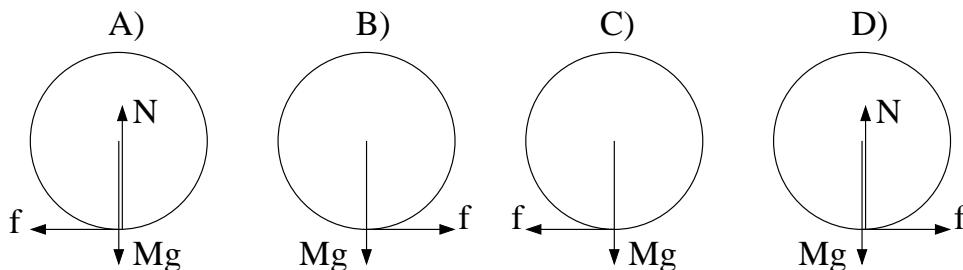


Ei snookerkule med masse M og radius R får et kraftig, men kortvarig støt av en horisontal kø (stav). Kulas treghetsmoment relativt en akse gjennom dens massesenter er $I_0 = 2MR^2/5$. Vi legger et koordinatsystem xyz med origo på bordflata og xy -planet lik vertikalplanet gjennom kulas massesenter. Køen treffer kula (som ligger i ro) i xy -planet med en kraft F i x -retning. Treffpunktet er i samme høyde som massesenteret, se figuren. Støtet er så kraftig og så kortvarig at vi under selve støtet kan neglisjere innvirkningen av friksjonskraften f fra snookerbordet. Etter støtet, derimot, kan f generelt ikke neglisjeres. (Men vi ser bort fra luftmotstand.) Oppgavene 8 – 10 er knyttet til denne figuren.

8) Anta at kula har masse 167 gram, og at det virker en konstant kraft på 500 N i støtet, som varer i 1 millisekund. Hva blir da kulas hastighet umiddelbart etter at støtet er fullført?

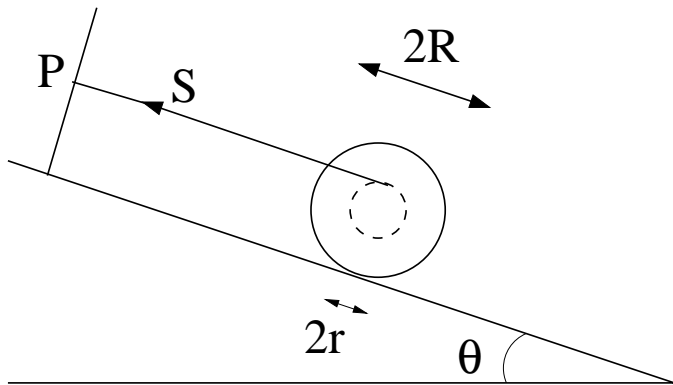
- A) 0.15 m/s B) 0.4 m/s C) 1.0 m/s D) 3.0 m/s

9) Hvilken figur viser kreftene på kula like etter at støtet er fullført?



10) Etter at støtet er fullført, er kulas dreieimpuls relativt origo, $L = MRV + I_0\omega$, bevart. Her er V og ω hhv kulas hastighet og vinkelhastighet. Like etter støtet glir kula med hastighet V_0 , uten å rotere. Hva er kulas hastighet når ren rulling er oppnådd?

- A) $3V_0/5$ B) $2V_0/5$ C) $2V_0/7$ D) $5V_0/7$



Ei snelle, dvs to skiver med radius R forbundet med en aksling med radius $r < R$, ligger på et skråplan med helningsvinkel θ . Ei snor er viklet om akslingen, og strukket parallellt med skråplanet til et festepunkt P som vist i figuren. Snellas treghetsmoment om akslingen er I_0 , massen er M , statisk friksjonskoeffisient mot skråplanet er μ_s , og kinetisk friksjonskoeffisient er μ_k , der $\mu_k < \mu_s$. Oppgavene 11 – 13 er knyttet til denne figuren.

11) Med snella liggende i ro på skråplanet, hvilke tre ligninger fastlegger snordraget S , og friksjonskraften f og normalkraften N fra skråplanet på snella?

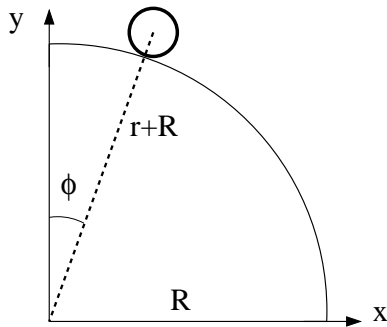
- A) $\sin \theta = N/Mg$, $\sin \theta = (f + S)/Mg$, $r/R = S/f$
 B) $\cos \theta = N/Mg$, $\sin \theta = (f + S)/Mg$, $r/R = f/S$
 C) $\cos \theta = N/Mg$, $\cos \theta = (f + S)/Mg$, $r/R = S/f$
 D) $\sin \theta = N/Mg$, $\cos \theta = (f + S)/Mg$, $r/R = f/S$

12) Hvilken fjerde ligning bidrar til å fastlegge θ_0 , dvs den maksimale skråplanvinkelen før snella begynner å slure nedover skråplanet?

- A) $\sin \theta_0 = N/\mu_s Mg$
 B) $\cos \theta_0 = N/\mu_s Mg$
 C) $\sin \theta_0 = f/\mu_s Mg$
 D) $\cos \theta_0 = f/\mu_s Mg$

13) Hvis $\theta > \theta_0$, vil snella slure nedover skråplanet. Hva blir sammenhengen mellom snellas lineære akselerasjon a og snellas vinkelakselerasjon α ?

- A) $a = \alpha r$ B) $a = \alpha/r$ C) $a = \alpha R$ D) $a = \alpha/R$



i	t_i (ms)	x_i (mm)	y_i (mm)
1	0	130	792
2	33	140	791
3	67	151	789
4	100	163	786
5	133	176	783
6	167	190	780
7	200	206	776
8	233	222	771
9	267	241	766
10	300	261	759

Tabellen viser posisjon (x, y) , målt i enheten millimeter (mm), og tid t , målt i enheten millisekunder (ms), for massesenteret til en hul messingsylinder (dvs et ”sylinderskall”) som ruller på utsiden av en kvartsrinkel med radius R . Sylinderen har indre radius 17 mm og ytre radius $r = 19$ mm, samt masse m . Oppgavene 14 – 19 er knyttet til denne figuren og tabellen.

14) Kvartsrinkelens radius R er ca

- A) 584 mm B) 684 mm C) 784 mm D) 884 mm

15) Et rimelig estimat for messingsylinderens treghetsmoment med hensyn på sylinderens symmetriakse gjennom dens massesenter er

- A) $I_0 = 0.1mr^2$ B) $I_0 = 0.5mr^2$ C) $I_0 = 0.9mr^2$ D) $I_0 = 1.2mr^2$

16) Sylinderens hastighet ved $t = t_7 = 0.200$ s er omtrent

- A) 0.05 m/s B) 0.50 m/s C) 5.0 m/s D) 50 m/s

17) Med konstant tidsintervall $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ kan sylinderens akselerasjon a_i ved tidspunktet t_i tilnærmes med algoritmen (”oppskriften”)

A)
$$a_i = \frac{\sqrt{(x_{i+1} + x_{i-1} - 2x_i)^2 + (y_{i+1} + y_{i-1} - 2y_i)^2}}{(\Delta t)^2}$$

B)
$$a_i = \frac{\sqrt{(x_{i+1} + x_{i-1} + 2x_i)^2 + (y_{i+1} + y_{i-1} + 2y_i)^2}}{(\Delta t)^2}$$

C)
$$a_i = \frac{\sqrt{(x_{i+1} + x_{i-1} - 2x_i)^2 + (y_{i+1} + y_{i-1} - 2y_i)^2}}{\Delta t}$$

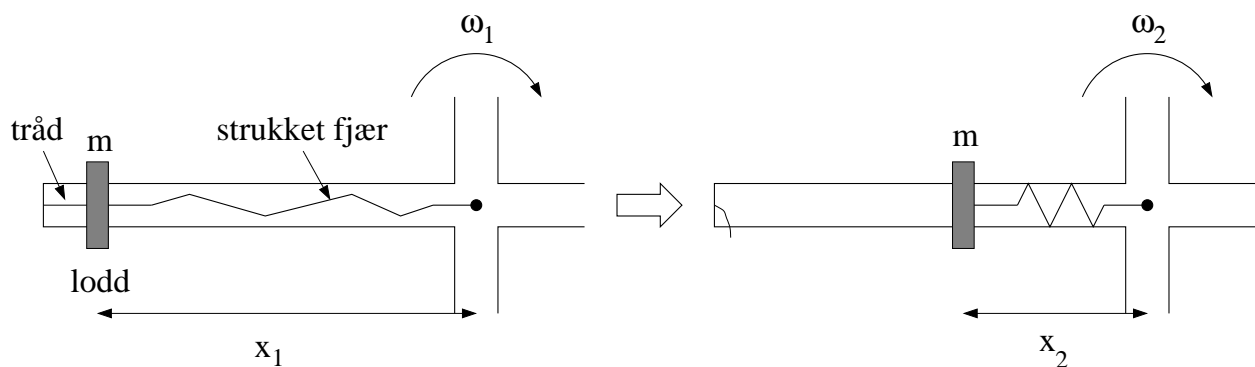
D)
$$a_i = \frac{\sqrt{(x_{i+1} + x_{i-1} + 2x_i)^2 + (y_{i+1} + y_{i-1} + 2y_i)^2}}{\Delta t}$$

18) Hvor, angitt ved vinkelen ϕ i grader, er sylinderen ved $t = t_{10} = 0.300$ s?

- A) 4° B) 19° C) 44° D) 82°

19) Sylinderen ble startet på toppen, ved $\phi \simeq 0^\circ$ med hastighet $v \simeq 0$. Hva er da korrekt kvalitativ beskrivelse av sylindereens bevegelse nedover kvartsirkelen, fra $y \simeq r + R$ til $y = 0$?

- A) Ren rulling hele veien.
 B) Ren rulling etterfulgt av sluring etterfulgt av "skrått kast"-bevegelse.
 C) Ren rulling etterfulgt av sluring hele veien.
 D) Ren rulling etterfulgt av "skrått kast"-bevegelse. (Ingen sluring.)



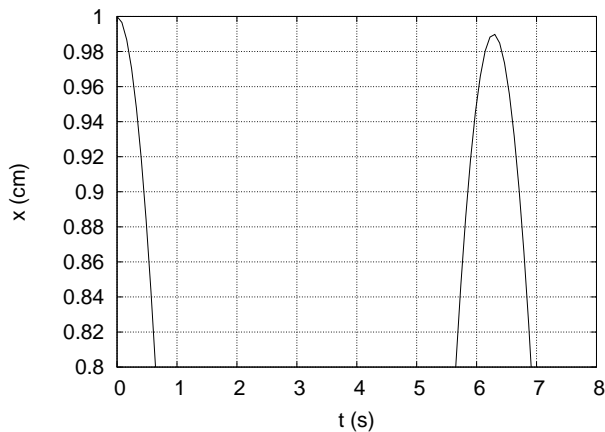
Figuren over viser den ene av fire like stenger på et roterende aksekorset, sett ovenfra og ned. Aksekorset har treghetsmoment I_0 med hensyn på vertikalaksen gjennom aksekorsets massesenter (markert med en liten svart sirkel). På hver av aksekorsets fire stenger er et lite lodd med masse m i utgangspunktet festet med en tynn tråd til stangas ytterste ende, samt til ei strukket fjær, som igjen er festet til rotasjonsaksen. (Figuren til venstre.) Tråd og fjær er tilnærmet masseløse. Før trådene kuttes roterer systemet med vinkelhastighet ω_1 , med de fire loddene i avstand x_1 fra rotasjonsaksen. Når de fire trådene kuttes, trekkes loddene innover av hver sin fjær, til den nye likevektsavstanden x_2 fra rotasjonsaksen. (Figur til høyre.) Systemet roterer nå med vinkelhastighet ω_2 . Oppgavene 20 og 21 er relatert til dette eksperimentet.

20) Hva er forholdet ω_2/ω_1 mellom vinkelhastighetene i slutt-tilstand og start-tilstand?

- A) $\omega_2/\omega_1 = (I_0 + 4mx_2^2)/(I_0 + 4mx_1^2)$ B) $\omega_2/\omega_1 = (I_0 - 4mx_1^2)/(I_0 - 4mx_2^2)$
 C) $\omega_2/\omega_1 = (I_0 + 4mx_1^2)/(I_0 + 4mx_2^2)$ D) $\omega_2/\omega_1 = (I_0 - 4mx_2^2)/(I_0 - 4mx_1^2)$

21) Hva er forholdet K_2/K_1 mellom kinetisk rotasjonsenergi i slutt-tilstand og start-tilstand?

- A) $K_2/K_1 = (I_0 + 4mx_2^2)/(I_0 + 4mx_1^2)$ B) $K_2/K_1 = (I_0 - 4mx_1^2)/(I_0 - 4mx_2^2)$
 C) $K_2/K_1 = (I_0 + 4mx_1^2)/(I_0 + 4mx_2^2)$ D) $K_2/K_1 = (I_0 - 4mx_2^2)/(I_0 - 4mx_1^2)$



22) Et svakt dempet mekanisk svingesystem svinger upåvirket av ytre krefter med et utsving som beskrives av funksjonen

$$x(t) = Ae^{-\gamma t} \cos \omega t,$$

med $A = 1.0$ cm. Figuren til venstre viser (deler av) $x(t)$ de første 8 sekundene av svingeforløpet (der 8 sekunder tilsvarer noe mer enn en hel periode). Dersom dette systemet ble påvirket av en ytre

harmonisk kraft, ville utsvingsamplituden plottet som funksjon av frekvensen Ω til den ytre kraften bli en resonanskurve, med maksimal amplitude når $\Omega \simeq \omega_0$, der ω_0 er svingesystemets egenfrekvens. Med svak demping blir resonanstoppen relativt smal, med halvverdibredde $\Delta\omega \simeq 2\gamma$. Med utgangspunkt i figuren over, hvor stor er omtrent resonanskurvens Q -faktor, definert som $Q = \omega_0/\Delta\omega$?

- A) 5 B) 17 C) 122 D) 313

23) En personbil med masse 1200 kg kolliderer fullstendig uelastisk med en lastebil som står i ro. (Dvs, bil og lastebil henger sammen etter kollisjonen.) Lastebilen har masse 6000 kg. Hvor stor andel av den kinetiske energien går tapt i denne kollisjonen? (Dvs $(K_{\text{før}} - K_{\text{etter}})/K_{\text{før}}$.) Se bort fra friksjonskrefter fra bakken i løpet av kollisjonen.

- A) 12% B) 54% C) 83% D) 99%



24) Et sykkelhjul med masse M , radius R og treghetsmoment $I_0 = MR^2$ (mhp akslingen gjennom hjulets massesenter) settes i rask rotasjon med vinkelhastighet ω . Det roterende hjulet henges opp i ei snor festet til akslingen i avstand r fra hjulets massesenter, som vist i figuren over til venstre. Som en følge av tyngdekraftens dreiemoment $\tau = Mgr$ relativt snoras festepunkt (A) preseserer hjulet (langsomt) om vertikalaksen med vinkelhastighet Ω . Hva blir Ω ? Tips: Benytt N2 for rotasjon ($\tau = \Delta L/\Delta t$, "spinningsatsen"), $L = I_0\omega$, samt figuren over til høyre.

- A) $gr/\omega R^2$ B) $gR/\omega r^2$ C) $\omega r/R$ D) $\omega R/r$

25) En fallskjermhopper utsettes for friksjonskraften (luftmotstanden) $f = -Dv^2$, der D er en konstant. Hopper med fallskjerm har total masse m , og tyngdens akselerasjon er g . Hvilken differensialligning bestemmer da fallskjermhopperens hastighet $v(t)$?

- A) $\frac{dv}{1+Dv^2/m} = g dt$ B) $\frac{dv}{D-v^2/mg} = g dt$ C) $\frac{dv}{v^2-mg} = \frac{D}{g} dt$ D) $\frac{dv}{1-Dv^2/mg} = g dt$

26) Hvor stort volum opptar et mol av en ideell gass ved atmosfæretrykk (101 kPa) og god og lun romtemperatur (300 K)?

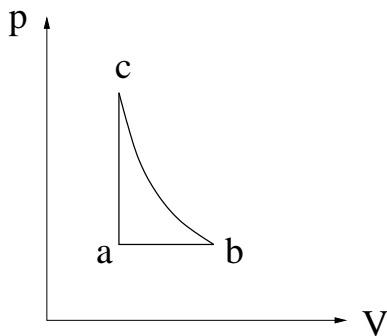
- A) 0.25 L B) 2.47 L C) 24.7 L D) 247 L

27) Jernbanen i Norge er ca 4000 km lang. Omtrent hvor mye lenger er den om sommeren enn om vinteren? Anta en temperaturforskjell på 20 grader. Lengdeutvidelseskoeffisienten for stål er $1.1 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

- A) 0.88 mm B) 0.88 cm C) 0.88 m D) 0.88 km

28) Hva er et rimelig estimat for antall molekyler i luften på soverommet ditt? Anta $3 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2.4 \text{ m}$.

- A) $5 \cdot 10^{23}$ B) $5 \cdot 10^{26}$ C) $5 \cdot 10^{29}$ D) $5 \cdot 10^{32}$

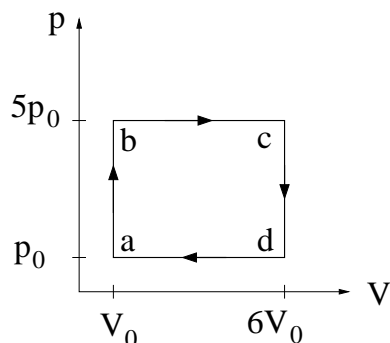


29) Figuren viser en reversibel kretsprosess for en ideell gass, bestående av en isobar, en isokor og en isentropisk (adiabatisk) prosess. Ranger temperaturene T_a , T_b og T_c i de tre hjørnene merket hhv a , b og c .

- A) $T_a < T_c < T_b$ B) $T_a < T_b = T_c$
 C) $T_a = T_b = T_c$ D) $T_a < T_b < T_c$

30) Et ideelt "Carnot-kjøleskap" holder konstant temperatur 4°C ("lavtemperaturreervoaret") i et kjellerrom der temperaturen er 13°C ("høytemperaturreervoaret"). Hva er kjøleskapets effektfaktor, dvs forholdet mellom varmen som trekkes ut av kjøleskapet og arbeidet som kjøleskapets motor må utføre? (Tips: For syklisk reversibel prosess er $\Delta S = 0$ og $\Delta U = 0$.)

- A) Ca 0.55 B) Ca 1.4 C) Ca 11 D) Ca 31



31) Figuren viser en kretsprosess for et mol ideell gass, med $p_0 = 1 \text{ atm}$ og $V_0 = 5 \text{ L}$. Omlag hvor stort arbeid utfører gassen pr syklus?

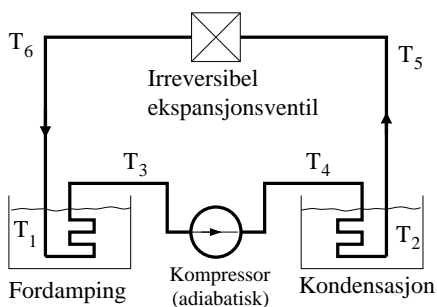
- A) 10 J B) 40 J
C) 10 kJ D) 40 kJ

32) Ranger temperaturene i de fire hjørnene av kretsprosessen i oppgave 31.

- A) $T_a < T_b < T_c < T_d$ B) $T_a < T_b < T_d < T_c$
C) $T_a < T_d < T_b < T_c$ D) $T_a < T_b = T_d < T_c$

33) Dersom gassen i oppgave 31 hadde ekspandert isotermt fra tilstand b til en tilstand med trykk p_0 , og deretter blitt komprimert ved konstant trykk tilbake til tilstand a og så varmet opp ved konstant volum til tilstand b osv, omtrent hvor stort arbeid ville gassen da ha utført pr syklus?

- A) 2.0 J B) 6.5 J C) 2.0 kJ D) 6.5 kJ



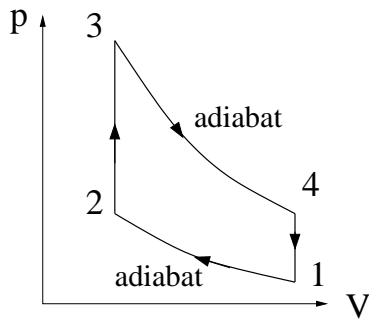
”Systemet” i varmepumpa (evt kjøleskapet) til venstre er et ”kjølefluid” som sirkulerer i rørsystemet og veksler mellom å være i væskeform og gassform. Varmereservoarene er angitt med temperaturene T_1 (kaldt) og $T_2 > T_1$ (varmt). Oppgavene 34 og 35 er knyttet til denne figuren.

34) Hvor avgir og/eller mottar systemet varme fra omgivelsene?

- A) Avgir ved T_2 og mottar ved T_1 . B) Avgir ved T_2 og avgir ved T_1 .
C) Mottar ved T_2 og mottar ved T_1 . D) Mottar ved T_2 og avgir ved T_1 .

35) Ranger temperaturene T_1 , T_2 , T_4 og T_6 . (Du kan anta at $T_3 \simeq T_1$ og at $T_5 \simeq T_2$.)

- A) $T_1 > T_2 > T_4 > T_6$ B) $T_6 > T_4 > T_2 > T_1$
C) $T_2 > T_1 > T_6 > T_4$ D) $T_4 > T_2 > T_1 > T_6$



36) Figuren viser en Otto-syklus, dvs en reversibel idealisering av en 4-takts bensinmotor. Temperaturen i hjørnene 1 – 4 er hhv $T_1 - T_4$. Hva kan du si om virkningsgraden η_O til denne prosessen, i forhold til størrelsen $1 - T_1/T_3$? (Tips: T_1 og T_3 er hhv prosessens minimale og maksimale temperatur.)

- A) $\eta_O < 1 - T_1/T_3$ B) $\eta_O > 1 - T_1/T_3$
 C) $\eta_O = 1 - T_1/T_3$ D) $\eta_O = \sqrt{1 - T_1/T_3}$

37) Bensin/luft-blandingen i oppgave 36 har varmekapasitet C_V (ved konstant volum). Hva blir da arbeidet utført av bensin/luft-blandingen pr syklus av Otto-prosessen?

- A) $C_V(T_4 - T_2)$ B) $C_V(T_3 - T_1)$
 C) $C_V(T_1 - T_2 + T_3 - T_4)$ D) $C_V(T_4 + T_3 - T_2 - T_1)$

38) Argon er en enatomig gass (dvs enkeltatomer) med atomdiameter ca 0.38 nm. Hvor stor andel av tilgjengelig volum okkuperer da argonatomene ved romtemperatur (300 K) og trykk 10^{-3} Pa (et ikke unormalt trykk i et elektronmikroskop, og blant folk som driver med overflatefysikk)? (Det oppgis at kuler har volum $4\pi r^3/3$.)

- A) $7 \cdot 10^{-6}$ B) $3 \cdot 10^{-6}$
 C) $7 \cdot 10^{-12}$ D) $3 \cdot 10^{-12}$

39) Argon har atomnummer 18, og i tillegg til de 18 protonene er det 22 nøytroner i atomkjernen. (Den mest vanlige isotopen, som utgjør ca 99.6%.) Hva blir da (omtrent) midlere partikkelhastighet $\langle v \rangle$ i en argongass ved termodynamiske betingelser som i oppgave 38?

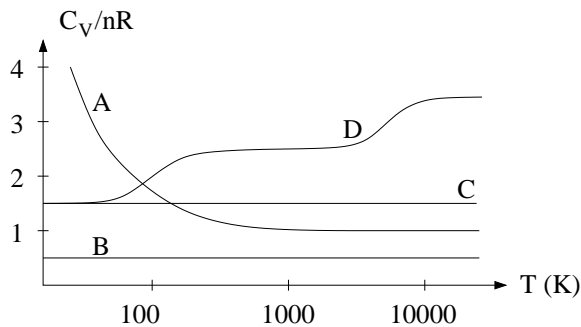
- A) 4 m/s B) 400 m/s C) 40000 m/s D) 4000000 m/s

40) Hydrogenmolekylet, H_2 , har mulige ("tillatte") rotasjonsenergier

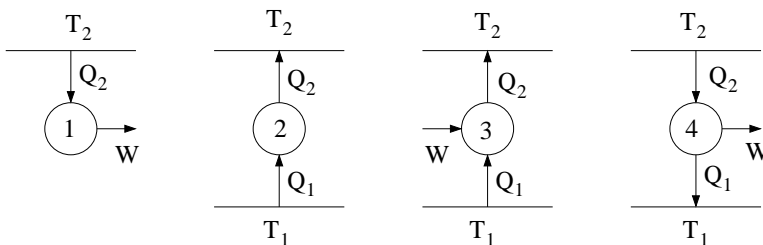
$$K_{\text{rot}}^{(l)} = \frac{l(l+1)\hbar^2}{2I_0}, \quad l = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Her er $\hbar = h/2\pi \simeq 1.05 \cdot 10^{-34}$ Js (h = Plancks konstant), og $I_0 = md^2/2$ er molekylets treghetsmoment med hensyn på akser som står normalt på molekylets sylinder-symmetriakse, og som passerer gjennom molekylets massesenter. For hydrogenmolekylet er $\hbar^2/I_0 \simeq 15$ meV. Det oppgis dessuten at $k_B \simeq 0.086$ meV/K. La π_l være sannsynligheten for at et gitt molekyl er i "rotasjonstilstand" l , med rotasjonsenergi $K_{\text{rot}}^{(l)}$. Hva er da forholdet π_1/π_0 ved temperatur 77 K (flytende nitrogen)?

- A) ca 1.8 B) ca 0.1 C) ca 0.0001 D) ca 10^{-9}

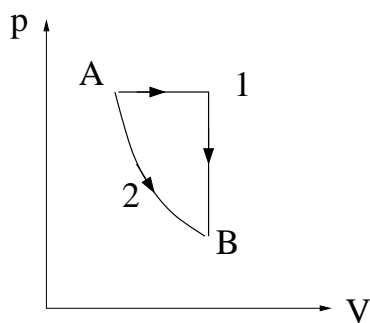


41) Hvilken kurve viser molar varmekapasitet C_V/nR som funksjon av temperaturen T , for hydrogengass (H_2)? ($R =$ gasskonstanten)



42) I figurene til venstre angir T_1 og $T_2 > T_1$ varmereservoarer, Q_1 og Q_2 angir varme hentet fra eller avgitt til hhv det kalde og det varme reservoaret, og W angir arbeid utført av eller på systemet. Hvilken (eventuelt hvilke) prosess(er) er *ikke* mulig(e) i henhold til termodynamikkens 2. lov?

- A) 1 og 2 B) 2 og 3
C) Kun 2 D) Alle 4



43) Et system kan bringes reversibelt fra tilstand A til tilstand B på to ulike måter: Ved hjelp av en kombinasjon av en isobar og en isokor prosess (1) eller via en isoterm prosess (2). Systemets entropiendring er S_1 for prosess 1 og S_2 for prosess 2. Da er

- A) $S_1 = S_2$
B) $S_1 > S_2$
C) $S_1 < S_2$
D) det ikke mulig å uttale seg om S_1 i forhold til S_2 .

44) I en ideell gass ved normale termodynamiske betingelser er varmekapasiteten pr partikkel av størrelsesorden

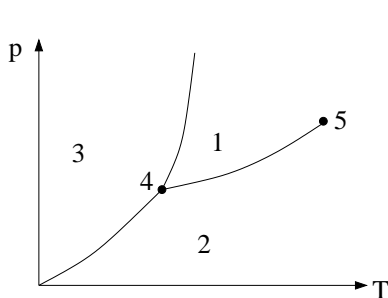
- A) R B) \hbar C) k_B D) N_A

45) To mol ideell gass er innestengt i en varmeisolert beholder med volum 10 L. En vegg fjernes hurtig, slik at gassen utvider seg isotermt (og irreversibelt), til et volum 25 L. Hva blir endringen ΔS i gassens entropi? (Oppgitt: Isoterm entropiendring er $dS = (\partial p/\partial T)_V dV$)

- A) $\Delta S = 15.2 \text{ J/K}$ B) $\Delta S = 0.3 \text{ J/K}$
C) $\Delta S = -0.6 \text{ J/K}$ D) $\Delta S = 44 \text{ J/K}$

46) Planeten Mars har en atmosfære som gir et gjennomsnittlig trykk ved overflaten på beskjedne 600 Pa, like i underkant av damptrykket ved vannets trippelpunkt. Hvor ville du da kunne ha håp om å finne vann i flytende form (dvs væskefase) på planeten Mars?

- A) I dype kratere. B) På høye fjell. C) Overalt. D) Ingen steder.

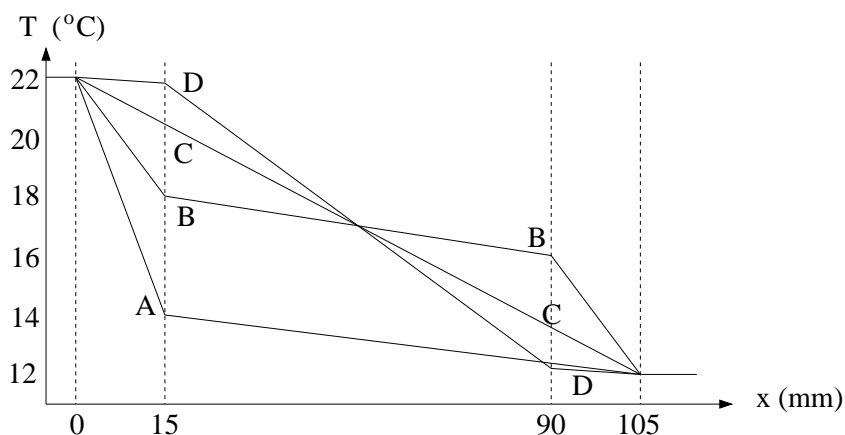


47) Figuren viser et fasediagram i (p, T) -planet for et rent stoff. De ulike fasene er angitt (1, 2, 3), sammen med spesielle punkter (4, 5) på koeksistenslinjene. Hvilket svaralternativ angir riktige faser, og punkter ved koeksistens?

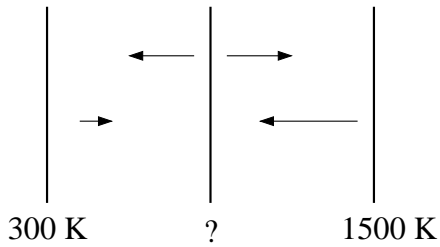
- A) 1 = fast stoff, 2 = væske, 3 = gass, 4 = trippelpunkt, 5 = kritisk punkt
 B) 3 = fast stoff, 1 = væske, 2 = gass, 4 = trippelpunkt, 5 = kritisk punkt
 C) 2 = fast stoff, 3 = væske, 1 = gass, 5 = trippelpunkt, 4 = kritisk punkt
 D) 1 = fast stoff, 3 = væske, 2 = gass, 5 = trippelpunkt, 4 = kritisk punkt

48) Hva forstår vi med begrepet konveksjon?

- A) Varmetransport pga elektromagnetisk stråling.
 B) Varmetransport pga strømning.
 C) Reversibel trykkøkning.
 D) Reversibel entropireduksjon.



49) 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"). Gipsplater isolerer godt mot *lyd* og hemmer spredning av brann, men isolerer *dårlig* mot varmeledning: $\kappa_{\text{gips}} = 0.25$ W/m K, mens $\kappa_{\text{glava}} = 0.035$ W/m K. Hvilken kurve viser da korrekt temperaturprofil gjennom veggens ved stasjonære (dvs tidsuavhengige) forhold og stuetemperatur (for $x < 0$) og soveromstemperatur (for $x > 105$ mm) hhv 22°C og 12°C?



50) To (tilnærmet uendelig) store parallelle metallplater holdes på fast temperatur hhv 300 K og 1500 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. Det er vakuum i rommet mellom platene. Når stasjonære (dvs tidsuavhengige) forhold er etablert, hva er temperaturen på den midterste platen?

- A) 612 K B) 900 K C) 1262 K D) 1488 K

FORMLER: Fete symboler angir vektorer. Symboler med hatt over angir enhetsvektorer. Formlernes gyldighetsområde og de ulike symbolenes betydning antas forøvrig å være kjent. Symbolbruk og betegnelser som i forelesningene.

MEKANISK FYSIKK

- Newtons andre lov: $\mathbf{F} = d\mathbf{p}/dt$ $\mathbf{p} = m\mathbf{v} = m\dot{\mathbf{r}}$
- Konstant akselerasjon: $v = v_0 + at$ $x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$
- Konstant vinkelakselerasjon: $\omega = \omega_0 + \alpha t$ $\theta = \theta_0 + \omega_0t + \frac{1}{2}\alpha t^2$
- Arbeid: $dW = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}$ Kinetisk energi: $K = \frac{1}{2}mv^2$
- Konservativ kraft og potensiell energi: $U(\mathbf{r}) = -\int_{\mathbf{r}_0}^{\mathbf{r}} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}$ $\mathbf{F} = -\nabla U(\mathbf{r})$
- Friksjon, statisk: $f \leq \mu_s N$ kinetisk: $f = \mu_k N$
- Luftmotstand (liten v): $\mathbf{f} = -k\mathbf{v}$ Luftmotstand (stor v): $\mathbf{f} = -Dv^2\hat{v}$
- Tyngdepunkt: $\mathbf{R}_{CM} = \frac{1}{M} \sum_i \mathbf{r}_i m_i \rightarrow \frac{1}{M} \int \mathbf{r} \cdot dm$
- Sirkelbevegelse: $v = r\omega$ Sentripetalakselerasjon: $a = -v^2/r$ Baneakselerasjon: $a = dv/dt = r d\omega/dt$
- Dreiemoment: $\boldsymbol{\tau} = (\mathbf{r} - \mathbf{r}_0) \times \mathbf{F}$ Statisk likevekt: $\sum \mathbf{F}_i = 0$ $\sum \boldsymbol{\tau}_i = 0$
- Dreieimpuls: $\mathbf{L} = (\mathbf{r} - \mathbf{r}_0) \times \mathbf{p}$ N2 rotasjon: $\boldsymbol{\tau} = d\mathbf{L}/dt$
- Stive legemer, sylindersymmetri mhp rotasjonsaksen: $\mathbf{L} = \mathbf{L}_b + \mathbf{L}_s = (\mathbf{R}_{CM} - \mathbf{r}_0) \times M\mathbf{V} + I_0\boldsymbol{\omega}$
- Kinetisk energi, stivt legeme: $K = \frac{1}{2}MV^2 + \frac{1}{2}I_0\omega^2$ Trehetsmoment: $I = \sum_i m_i r_i^2 \rightarrow \int r^2 dm$
- Steiners sats (parallellakse-teoremet): $I = I_0 + Md^2$
- Gravitasjon: $\mathbf{F} = -\frac{GMm}{r^2}\hat{r}$ $U(r) = -\frac{GMm}{r}$ $\mathbf{g} = \mathbf{F}/m$
- Enkel harmonisk oscillator: $\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$ $T = 2\pi/\omega_0$ $f = 1/T = \omega_0/2\pi$
Masse i fjær: $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ Matematisk pendel: $\omega_0 = \sqrt{g/L}$
- Fri, dempet svingning, langsom bevegelse i fluid: $m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = 0$
 $\Rightarrow \ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$ $\omega_0^2 = k/m$ $\gamma = b/2m$
Underkritisk demping ($\gamma < \omega_0$) $x(t) = Ae^{-\gamma t} \sin(\omega t + \phi)$ $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}$
Overkritisk demping ($\gamma > \omega_0$) $x(t) = Ae^{-\alpha_1 t} + Be^{-\alpha_2 t}$ $\alpha_{1,2} = \gamma \pm \sqrt{\gamma^2 - \omega_0^2}$
Kritisk demping ($\gamma = \omega_0$) $x(t) = Ae^{-\gamma t} + Bte^{-\gamma t}$

- Tvungen svingning, harmonisk ytre kraft: $m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = F_0 \cos \omega t$

(partikulær-)løsning: $x(t) = A(\omega) \sin(\omega t + \phi(\omega))$

amplitude: $A(\omega) = \frac{F_0/m}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_0^2)^2 + (2\gamma\omega)^2}}$

TERMISK FYSIKK

- Utvidelseskoeffisienter (lineær og volum), trykk-koeffisient, isoterm kompressibilitet:

$$\alpha = \frac{1}{L} \left(\frac{\partial L}{\partial T} \right)_p \quad \beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p = 3\alpha \quad \gamma = \frac{1}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V \quad \kappa = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T$$

- Første hovedsetning:

$$dQ = dU + dW$$

- Varmekapasitet C , pr masseenhet c , pr mol c_m :

$$C = \frac{dQ}{dT}, \quad c = C/M, \quad c_m = C/n$$

- C_p og C_V :

$$C_p = (dQ/dT)_p, \quad C_V = (dQ/dT)_V$$

$$C_p - C_V = T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$$

$$C_p - C_V = nR \quad \text{for ideell gass}$$

- Den termodynamiske identitet:

$$TdS = dU + pdV$$

- Ideell gass tilstandsligning:

$$pV = Nk_B T = nRT$$

- van der Waals tilstandsligning:

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

- Adiabatisk prosess:

$$dQ = 0$$

- "Overraskende nyttig relasjon":

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

- Virkningsgrad for varmekraftmaskin:

$$\eta = \frac{W}{Q_2}$$

- Virkningsgrad for Carnot-maskin:

$$\eta_C = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

- Maxwells hastighetsfordeling:
for hastighetskomponentene:

$$g(v_x) = \left(\frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{1/2} e^{-mv_x^2/2k_B T}$$

for hastigheten:

$$F(v) = \left(\frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{3/2} e^{-mv^2/2k_B T}$$

for hastighetens absoluttverdi:

$$f(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{3/2} v^2 e^{-mv^2/2k_B T}$$

- Gauss-integraler:

$$I_0(\alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\alpha x^2} dx = \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}$$

$$I_2(\alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 e^{-\alpha x^2} dx = -\frac{d}{d\alpha} I_0(\alpha) \quad \text{etc}$$

- Det klassiske ekvipartisjonsprinsippet:

Hver frihetsgrad som inngår kvadratisk i energifunksjonen E bidrar med $k_B T/2$ til midlere energi pr partikkel.

- Partisjonsfunksjon Z og tilstandssannsynlighet π_j :

$$Z = \sum_j e^{-E_j/k_B T} \quad , \quad \pi_j = Z^{-1} e^{-E_j/k_B T}$$

- Kjøleskap og varmepumpe, virkningsgrad (effektfaktor):

$$\varepsilon_K = \left| \frac{Q_1}{W} \right| \quad , \quad \varepsilon_V = \left| \frac{Q_2}{W} \right|$$

- Entropi og Clausius' ulikhet:

$$dS = \frac{dQ_{\text{rev}}}{T} \quad \oint dS = 0 \quad \oint \frac{dQ}{T} \leq 0$$

- Boltzmanns prinsipp:

$$S = k_B \ln W$$

- Clapeyrons ligning:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta S}{\Delta V}$$

- Damptrykk-kurven:

$$p_d(T) = p_d(T_0) \exp \left[\frac{l}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right]$$

(l = molar latent varme, T_0 = valgt referansetemperatur)

- Strålingshulrom, frekvensfordeling:

$$\eta(f, T) = \frac{du}{df} = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{f^3}{\exp(hf/k_B T) - 1}$$

- Stefan-Boltzmanns lov:

$$j_s(T) = \frac{c}{4} u(T) = \sigma T^4 \quad (\sigma = 2\pi^5 k_B^4 / 15h^3 c^2)$$

- Fouriers lov:

$$\mathbf{j} = -\kappa \nabla T$$

- Varmeledning ligningen:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D_T \nabla^2 T \quad , \quad D_T = \kappa / c\mu$$

med κ = varmeledningsevne, $c = C/M$ = varmekapasitet pr masseenhet, $\mu = M/V$ = masse pr volumenhet.

KONSTANTER, OMREGNINGSFAKTORER OG DEKADISKE PREFIKSER

- Fundamentale konstanter:

$$\begin{aligned} G &= 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2 \quad (g = 9.81 \text{ m/s}^2) \\ m_e &= 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \\ m_p = m_n &= 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ k_B &= 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \\ R &= 8.314 \text{ J/molK} \\ N_A &= R/k_B = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \\ h &= 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \\ \hbar &= h/2\pi = 1.05 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \\ e &= 1.60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ c &= 3.00 \cdot 10^8 \text{ m/s} \\ \sigma &= 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \end{aligned}$$

- Omregningsfaktorer:

$$\begin{aligned} 1 \text{ eV} &= 1.60 \cdot 10^{-19} \text{ J} \\ 1 \text{ \AA} &= 10^{-10} \text{ m} \\ 1 \text{ cal} &= 4.184 \text{ J} \\ 1 \text{ bar} &= 10^5 \text{ Pa} \\ 1 \text{ atm} &= 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa} \\ 1 \text{ mmHg} &= 133.3 \text{ Pa} \end{aligned}$$

- Dekadiske prefikser: p = piko = 10^{-12} , n = nano = 10^{-9} , μ = mikro = 10^{-6} , m = milli = 10^{-3} , c = centi = 10^{-2} , k = kilo = 10^3 , M = mega = 10^6 , G = giga = 10^9

Kandidatnummer:

Oppgave	A	B	C	D	Oppgave	A	B	C	D
1	<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"/>
2	<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"/>
3	<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"/>
4	<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"/>
5	<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"/>
6	<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"/>
7	<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"/>
8	<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"/>
9	<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"/>
10	<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"/>
11	<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"/>
12	<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"/>
13	<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"/>
14	<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"/>
15	<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"/>
16	<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"/>
17	<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"/>
18	<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"/>
19	<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"/>
20	<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"/>
21	<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"/>
22	<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"/>
23	<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"/>
24	<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"/>
25	<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"/>

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

GOD JUL!