

I snooker brukes kompakte kuler med diameter 52.5 mm og masse 130 g. Oppgavene 1 – 6 dreier seg om slike kuler.

1) Hva er omtrent massetettheten, i enheten gram pr kubikkcentimeter, til plastmaterialet som benyttes i snookerkuler?

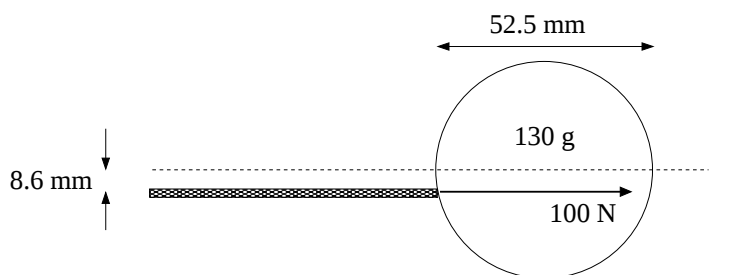
- A) 0.2 B) 0.7 C) 1.2 D) 1.7 E) 2.2

2) En forsøksserie, der snookerkuler slippes i tyngdefeltet, viser at luftmotstanden beskrives bra med en hastighetsavhengig friksjonskraft $f(v) = Dv^2$, med koeffisient $D = 0.656 \text{ g/m}$. Hva er da snookerkulas maksimale hastighet (terminalhastighet)?

- A) 14 m/s B) 24 m/s C) 34 m/s D) 44 m/s E) 54 m/s

3) Ei snookerkule slippes (med null startfart) fra 3. etasje i Realfagbygget. Hva er omtrent kulas hastighet når den treffer gulvet i 1. etasje, etter å ha falt ca 7 m?

- A) 11 m/s B) 14 m/s C) 17 m/s D) 20 m/s E) 23 m/s



4) Ei snookerkule ligger i ro på et snookerbord. Den gis et horisontalt støt 8.6 mm under senterlinjen, med en kraft 100 N som kan regnes konstant gjennom støtets varighet på 0.01 s. (Senterlinjen er den horisontale linjen som går gjennom kulas massesenter.) Friksjonskrefter kan neglisjeres i selve støtet. Når støtet er fullført, må vi ta hensyn til friksjon mellom kule og bord, som karakteriseres ved statisk og kinetisk friksjonskoeffisient hhv $\mu_s = 0.60$ og $\mu_k = 0.50$. Hva er snookerkulas hastighet V_0 umiddelbart etter at støtet er fullført?

- A) 3.7 m/s B) 5.7 m/s C) 7.7 m/s D) 9.7 m/s E) 11.7 m/s

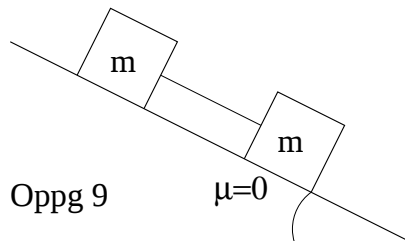
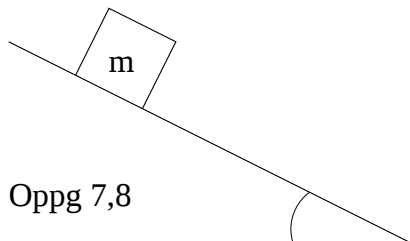
5) Hva er snookerkulas vinkelhastighet ω_0 umiddelbart etter at støtet er fullført? ($I_0 = 2mr^2/5$)

- A) 15 rad/s B) 30 rad/s C) 60 rad/s D) 120 rad/s E) 240 rad/s

6) Hva er snookerkulas vinkelakselerasjon α etter at støtet er fullført (og fram til den ruller rent, dvs uten å slure/gli)?

- A) 267 rad/s² B) 367 rad/s² C) 467 rad/s² D) 567 rad/s² E) 667 rad/s²

En kubisk kloss (alle sidekanter like lange) med masse 0.15 kg er plassert på et skråplan. Statisk og kinetisk friksjonskoeffisient mellom kloss og skråplan er hhv $\mu_s = 0.60$ og $\mu_k = 0.49$. Oppgavene 7 – 9 dreier seg om dette systemet.



7) Hvor stor vinkel kan skråplanet maksimalt danne med horisontalen uten at klossen skal begynne å gli?

- A) 26° B) 31° C) 36° D) 41° E) 46°

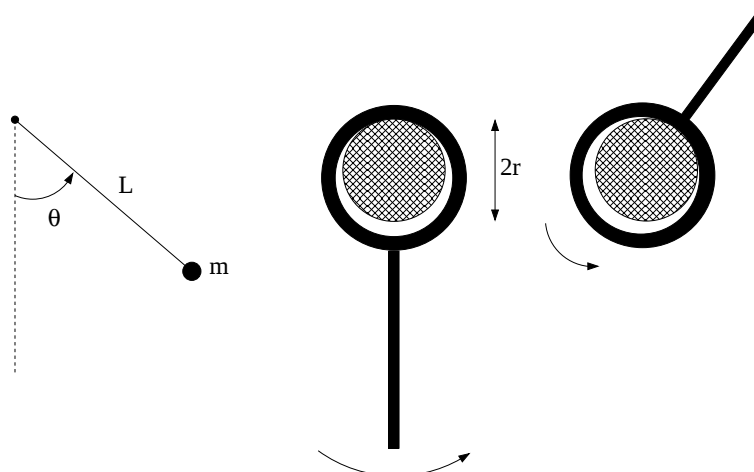
8) Anta at klossen glir. Hva må skråplanets helningsvinkel være for at klossen skal gli nedover med konstant hastighet?

- A) 26° B) 31° C) 36° D) 41° E) 46°

9) En kloss nr to plasseres på skråplanet nedenfor klossen som hittil er beskrevet. De to klossene forbindes med ei tilnærmet masseløs snor (parallellell med skråplanet). Kloss nr to er så glatt at vi kan se bort fra friksjon mellom denne klossen og skråplanet. De to klossene har like stor masse. Anta at klossene glir. Hva må skråplanets helningsvinkel nå være for at de to klossene skal gli nedover med konstant hastighet?

- A) 2° B) 6° C) 10° D) 14° E) 18°

En fysisk, men tilnærmet matematisk pendel består av et lodd med masse $m = 200$ g festet til enden av ei tynn stang med lengde $L = 64$ cm. Stanga har en ring i den andre enden, tredd inn på en fastspent aksling med radius $r = 8.0$ mm. Ringens indre radius er bittelitt større enn dette, slik at pendelen kan rotere med forholdsvis lite friksjonstap omkring akslingen. Friksjonskraften f_μ mellom pendelring og aksling kan behandles som tørr kinetisk friksjon, dvs proporsjonal med normalkraften N fra akslingen på pendelen, med friksjonskoeffisient $\mu = 0.1$. I tillegg antar vi at loddet i enden av pendelstanga utsettes for en luftmotstand som i absoluttverdi er proporsjonal med kvadratet av loddets hastighet, $f_D = Dv^2$, med $D = 0.1$ g/m. Pendelens utsving fra likevekt angis med vinkelen θ , regnet positiv mot klokka. Oppgavene 10 – 13 dreier seg om denne pendelen.



10) Anta at pendelen starter med praktisk talt null vinkelhastighet, med pendelstanga rett oppover ($\theta = -\pi$). Neglisjer i første omgang friksjonskreftene som virker på pendelen og beregn dermed en tilnærmet riktig verdi for pendelens vinkelhastighet i det loddet for første gang passerer bunnen av sirkelbanen ($\theta = 0$).

- A) 5.8 s^{-1} B) 7.8 s^{-1} C) 9.8 s^{-1} D) 11.8 s^{-1} E) 13.8 s^{-1}

11) Etter at loddet har svingt forbi bunnen første gang vil det svinge nesten opp til toppen igjen, men ikke helt. Det er klart at normalkraften N har retning *bort fra* loddet når loddet passerer bunnen, og retning *mot* loddet der loddet snur. Det må bety at N er lik null et eller annet sted mellom bunnen og der hvor loddet snur. Hva er sammenhengen mellom vinkelen θ og vinkelhastigheten $\omega = \dot{\theta}$ der $N = 0$?

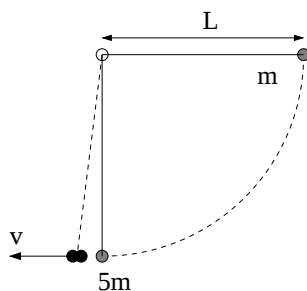
- A) $\omega = \sqrt{-\frac{g \sin \theta}{L}}$ B) $\omega = \sqrt{-\frac{g \cos \theta}{L}}$ C) $\omega = \sqrt{-\frac{g \tan \theta}{L}}$ D) $\omega = \sqrt{-\frac{g}{L \sin \theta}}$ E) $\omega = \sqrt{-\frac{g}{L \cos \theta}}$

12) Anta at pendelen etter noen svingninger passerer bunnen med hastighet 0.5 m/s . Du ønsker å vurdere relativ påvirkning av tørr friksjon og luftmotstand akkurat i denne situasjonen og velger da å betrakte det dimensjonsløse forholdet $\kappa = |\tau_\mu / \tau_D|$. Her er τ_μ og τ_D dreiemomentet på pendelen pga hhv tørr friksjon og luftmotstand. Hva er verdien av κ her?

- A) 102 B) 202 C) 302 D) 402 E) 502

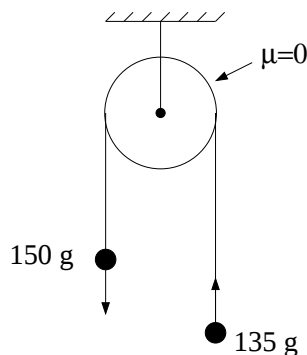
13) Anta små utsving fra likevekt og neglisjerbar friksjon og luftmotstand. Hva er da svingetiden (perioden) for en slik pendel?

- A) 1.1 s B) 1.6 s C) 2.1 s D) 2.6 s E) 3.1 s



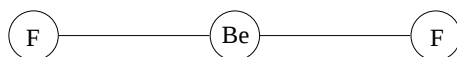
14) To kuler, med masse m og $5m$, er hengt opp i samme punkt med tynne, vektløse snorer med lengde $L = 1.0$ m. Kula med masse m trekkes ut til snora er horisontal og slippes. Den svinger nedover og treffer den andre kula i et sentralt støt. Betrakt kulene som punktmasser slik at snorene er vertikale når kollisjonen skjer. Anta at kollisjonen er fullstendig uelastisk, dvs kulene henger sammen etter kollisjonen. Hva er kulenes felles hastighet v umiddelbart etter kollisjonen?

- A) 0.7 m/s B) 1.7 m/s C) 2.7 m/s D) 3.7 m/s E) 4.7 m/s



15) Figuren viser et øyeblikksbilde av to små kuler med masse hhv 150 g og 135 g, forbundet med ei tilnærmet masseløs snor som kan gli uten friksjon over ei trinse. Hva er kulenes akselerasjon?

- A) 0.12 m/s² B) 0.22 m/s² C) 0.32 m/s² D) 0.42 m/s² E) 0.52 m/s²



16) Berylliumdifluorid, BeF_2 , er et lineært molekyl (F–Be–F) med Be i midten. En av de fire mulige vibrasjonsbevegelsene, såkalt "symmetrisk strekk", innebærer at de to F-atomene svinger hver sin vei langs molekylets akse mens Be-atomet står i ro. Svingebevegelsen kan betraktes som en harmonisk oscillator, med masse 19u og fjærkonstant 16.8 N/m. Med hvilken frekvens svinger da F-atomene? ($1\text{u} = 1.66 \cdot 10^{-27}$ kg.)

- A) 1.7 THz B) 3.7 THz C) 5.7 THz D) 7.7 THz E) 9.7 THz

17) Avstanden mellom Be og hvert av de to F-atomene er 133 pm. Hvor stort er da molekylets treghetsmoment, mhp en akse gjennom massesenteret og normalt på molekylets akse?

- A) 7 uÅ² B) 27 uÅ² C) 47 uÅ² D) 67 uÅ² E) 87 uÅ²

18) En miljøvennlig trikk drives ved å utnytte den kinetiske energien i ei roterende kompakt metallskive med diameter 150 cm og masse 1200 kg. Hva er skivas kinetiske energi når den gjør 3000 omdreininger pr minutt? (Oppgitt: $I_0 = MR^2/2$ for kompakt skive.)

- A) 17 J B) 17 kJ C) 17 MJ D) 17 GJ E) 17 TJ

19) En kloss med masse 20 g er festet til ei fjær med fjærkonstant 20 N/m. Fjæra strekkes med 2.0 cm og klossen slippes, med null starthastighet. Klossen utfører deretter dempede svingninger, der dempingskraften er proporsjonal med klossens hastighet, med dempingskoeffisient $b = 0.020$ Ns/m. Hvor mange hele perioder svinger klossen før utsvingsamplituden er redusert til 0.4 cm?

- A) 6 B) 16 C) 26 D) 36 E) 46

20) Hva er Q -faktoren til systemet i oppgave 19?

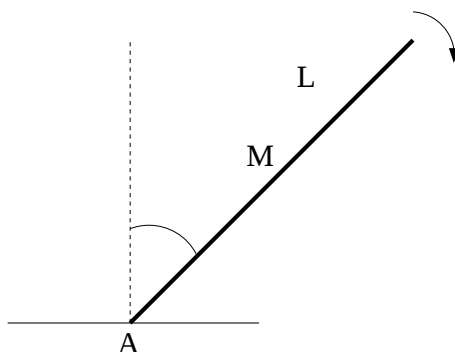
- A) $Q = 19$ B) $Q = 27$ C) $Q = 32$ D) $Q = 71$ E) $Q = 88$

21) Til hvilken verdi må dempingskoeffisienten b justeres i oppgave 19 dersom systemet skal være kritisk dempet?

- A) 0.8 Ns/m B) 1.3 Ns/m C) 1.8 Ns/m D) 2.3 Ns/m E) 2.8 Ns/m

22) Anta at systemet i oppgave 19 *er* kritisk dempet, slik at $\gamma = \omega_0$. Dersom fjæra nå strekkes med 2.0 cm, i positiv x -retning, hva må da klossens starthastighet være for at den skal *passere* likevektsposisjonen $x = 0$ (en gang)?

- A) Mer enn 63 cm/s i positiv x -retning B) Mer enn 23 cm/s i positiv x -retning
C) Den kan være hva som helst D) Mer enn 23 cm/s i negativ x -retning
E) Mer enn 63 cm/s i negativ x -retning



23) Ei jamntjukk flaggstang med lengde L faller slik at den roterer om festepunktet A nede ved bakken. Hva er hastigheten til toppen av flaggstanga rett før den treffer bakken? Oppgitt: $I_0 = ML^2/12$.

- A) $\sqrt{gL}$ B) $\sqrt{3gL}$ C) $\sqrt{6gL}$ D) $\sqrt{9gL}$ E) $\sqrt{12gL}$

24) Merkur har masse $3.302 \cdot 10^{23}$ kg og radius 2440 km. Planeten kunne observeres den 9. mai i år, da den passerte foran solskiva, sett her fra jorden. Hvor stor er tyngdens akselerasjon på Merkurs overflate?

- A) 1.7 m/s^2 B) 2.7 m/s^2 C) 3.7 m/s^2 D) 4.7 m/s^2 E) 5.7 m/s^2

25) På månen er tyngdens akselerasjon ca $1/6$ av verdien på jorden. Hva er da nedre teoretiske grense for tiden en elektrisk bil bruker på å akselerere fra 0 til 100 km/h på månen? Anta at statisk friksjonskoeffisient mellom bildekk og underlag har verdien 1.0.

- A) 1 s B) 5 s C) 9 s D) 13 s E) 17 s

En transversal bølge $y(x, t) = y_0 \sin(kx - \omega t)$ forplanter seg på en streng, med $y_0 = 2.0 \text{ cm}$, $k = 20 \text{ m}^{-1}$ og $\omega = 20 \text{ s}^{-1}$. Oppgavene 26 – 28 dreier seg om denne harmoniske bølgen.

26) Hva er bølgelengden?

- A) 31 cm B) 41 cm C) 51 cm D) 61 cm E) 71 cm

27) Hva er bølgehastigheten?

- A) 20 cm/s B) 40 cm/s C) 60 cm/s D) 80 cm/s E) 1.0 m/s

28) Hva er strengelementenes maksimale hastighet?

- A) 20 cm/s B) 40 cm/s C) 60 cm/s D) 80 cm/s E) 1.0 m/s

29) En akustisk gitar har strenger med 648 mm mellom festepunktene (dvs der strengen har null utsving). A-strengen har masse 4.466 gram pr meter og skal stemmes slik at grunntonen har en frekvens 110 Hz . Hva skal strekk-kraften i strengen være?

- A) 10.8 N B) 30.8 N C) 50.8 N D) 70.8 N E) 90.8 N

30) En sirene er festet ute på kanten (periferien) av ei sirkulær skive som roterer med omløpstid 0.2 s . Skivas radius er 50 cm . Sirenen genererer lyd med frekvens 200 Hz . Lydhastigheten er 340 m/s . Du står et stykke unna og hører lyd med en frekvens som varierer harmonisk mellom

- A) 199 og 201 Hz B) 195 og 205 Hz C) 191 og 210 Hz D) 187 og 214 Hz E) 183 og 218 Hz

31) Du sender rødt laserlys, med bølgelengde 700 nm , inn mot et diffraksjonsgitter og observerer intensitetsmaksima i retning $\theta_1 = \pm 44.4^\circ$ (i tillegg til rett fram, selvsagt, $\theta_0 = 0^\circ$). I hvilke retninger vil det samme diffraksjonsgitteret gi intensitetsmaksima med fiolett laserlys, med bølgelengde 400 nm ?

- A) $0^\circ, \pm 16.2^\circ, \pm 34.3^\circ$ B) $0^\circ, \pm 23.6^\circ, \pm 53.1^\circ$ C) $0^\circ, \pm 29.1^\circ, \pm 81.4^\circ$ D) $0^\circ, \pm 35.8^\circ$ E) $0^\circ, \pm 44.4^\circ$

32) Springsteen spiller i Granåsen, og du har funnet deg en fin plass, ca 10 m fra høyttaleranlegget, som sender ut omtrentlig like mye akustisk energi i alle retninger. Halvveis i åpningslåten innser du at lydintensiteten er i høyeste laget. Hvor lang avstand må du ha til høyttalerne for å redusere lydtrykksnivået med 10 dB?

- A) 12 m B) 32 m C) 52 m D) 72 m E) 92 m

33) Du befinner deg i en fiskebåt 20 km utenfor kysten da et lokalt uvær passerer fiskefeltet, med kurs rett inn mot kysten. Du teller 7 sekunder mellom hver gang båten er på en bølgetopp. Vel vitende om at du er på dypt vann (dvs: dybden er betydelig større enn bølgelengden, hele veien inn til kysten) kan du anslå at uværet ("bølgetoget") vil slå mot land om ca

- A) 1 time B) 2 timer C) 3 timer D) 4 timer E) 5 timer

34) Et jordskjelv på havets bunn, på ca en kilometers dyp, skaper en bølge på overflaten med bølgelengde ca 200 km. Med hvilken hastighet forplanter bølgen seg?

- A) ca 1 m/s B) ca 10 m/s C) ca 100 m/s D) ca 1000 m/s E) ca 1400 m/s

35) En streng med masse μ pr lengdeenhet er plassert langs x -aksen med strekk-kraft S . En bølgepuls forplanter seg langs strengen, i positiv x -retning. Ved tidspunktet $t = 0$ er utsvinget

$$\xi(x, 0) = \xi_0 (1 + \cos(2\pi x/a))$$

for $|x| \leq a/2$ og $\xi(x, 0) = 0$ for $|x| > a/2$. Hva er den totale energien E som forplanter seg med denne bølgepulsen?

Oppgitt: Energien pr lengdeenhet er $\varepsilon = S(\partial\xi/\partial x)^2$. Trigonometrisk identitet: $\sin^2 \beta = (1 - \cos 2\beta)/2$.

- A) $E = 4S\xi_0\pi$ B) $E = 3Sa^2\pi^2/\xi_0$ C) $E = 2S\xi_0^2\pi^2/a$ D) $E = S^2\xi_0^2/a$ E) $E = 4\xi_0\pi^2/S$

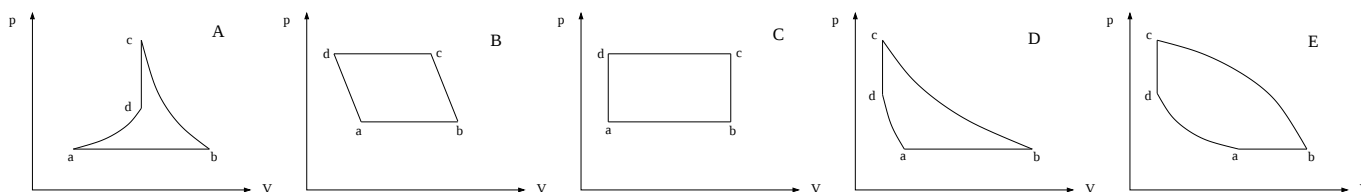
36) En stålbjelke er 1000 cm lang når temperaturen er -30°C . Hvor mye lenger er bjelken ved en temperatur $+50^\circ\text{C}$? Stål har lengdeutvidelseskoeffisient $12 \mu\text{m}/\text{m K}$.

- A) 0.01 mm B) 0.1 mm C) 1 mm D) 1 cm E) 10 cm

37) En ideell gass benyttes som arbeidssubstans i en kjølemaskin og gjennomgår følgende reversible kretsprosess (der a, b, c og d angir ulike likevektstilstander for gassen): ab : isobar utvidelse, bc : isoterm kompresjon, cd : isokor trykkreduksjon, da : adiabatisk utvidelse. Hva er da korrekt rangering av temperaturene i de fire likevektstilstandene?

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

38) Hvilken figur illustrerer kretsprosessen i forrige oppgave?



39) I trippelpunktet til etanol er temperaturen 150 K og damptrykket (metningstrykket) 0.43 mPa. Etanols fordampingsvarme er ca 42 kJ/mol og varierer lite med temperaturen. Hvilken verdi gir da Clapeyrons ligning (og dermed damptrykk-kurven) for kokepunktet til etanol? (En væske koker når damptrykket tilsvarer det omgivende lufttrykket, som ved normale betingelser er ca en atmosfære.)

- A) ca 62°C B) ca 66°C C) ca 70°C D) ca 74°C E) ca 78°C

40) Ei aluminiumsstang har lengde 50 cm og tverrsnitt 10 cm². Stangas to ender er i kontakt med vann med temperatur hhv 20°C og 100°C. I dette temperaturintervallet er varmeledningsevnen til Al omtrent konstant, med verdi 235 W/m K. Hvor mye varmeeffekt overfører stanga ved stasjonære forhold?

- A) 17 mW B) 38 mW C) 17 W D) 38 W E) 17 kW

41) Anta nå at det varme vannet i forrige oppgave ikke er et stort reservoar men derimot 5 L (evt 5 kg) med vann, med spesifikk varmekapasitet 4.2 kJ/kg K. Da vil temperaturforskjellen $\Delta T(t) = T(t) - T_1$ mellom det varme vannet ($T(t)$) og vannet med romtemperatur ($T_1 = 20^\circ\text{C}$) avta i henhold til ligningen

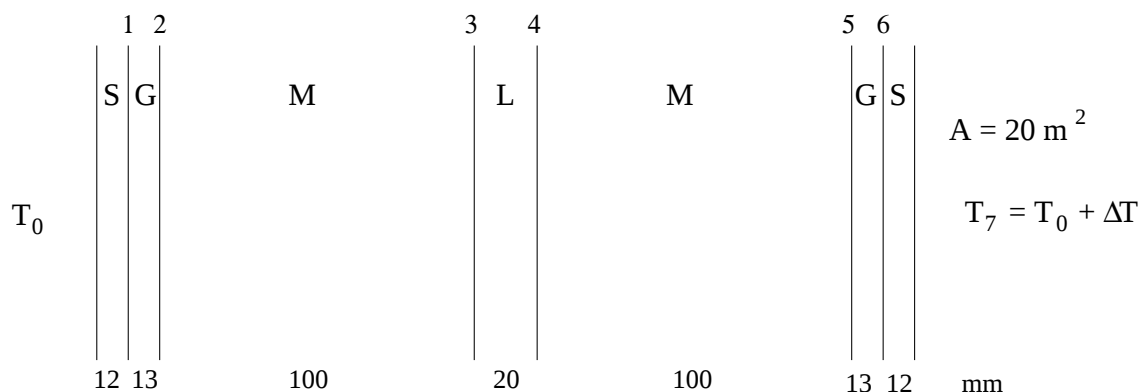
$$\frac{d\Delta T}{dt} = -\alpha \Delta T.$$

Hvor stor er koeffisienten α for dette systemet? Vi antar, som i forrige oppgave, at varme kun overføres via den 50 cm lange aluminiumsstanga.

- A) 0.0008 pr time B) 0.008 pr time C) 0.08 pr time D) 0.80 pr time E) 8.00 pr time

42) Betong har varmeledningsevne $\kappa = 1.0 \text{ W/m K}$. Hva er da byggebransjens U-verdi (i enheten W/m² K) for en 40 cm tykk betongvegg?

- A) U = 0.4 B) U = 1.1 C) U = 1.8 D) U = 2.5 E) U = 3.2



En skillevegg mellom to rekkehus er konstruert som i figuren ovenfor: 12 mm sponplate (S), 13 mm gips (G), 100 mm mineralull (M), 20 mm luft (L), 100 mm mineralull (M), 13 mm gips (G), 12 mm sponplate (S). Gipsplater isolerer godt mot *lyd* og hemmer spredning av brann, men isolerer *dårlig* mot varmeledning. Varmeledningsevnene er $\kappa_S = 0.12 \text{ W/m K}$, $\kappa_G = 0.25 \text{ W/m K}$, $\kappa_M = 0.035 \text{ W/m K}$, $\kappa_L = 0.026 \text{ W/m K}$. Pensjonistparet i leiligheten til venstre har valgt å tilbringe deler av vinteren på sydligere breddegrader og har skrudd termostaten i alle rom ned til temperaturen $T_0 = 9^\circ\text{C}$. Studentparet i leiligheten til høyre kan ikke unne seg den slags luksus og holder en jevn temperatur $T_7 = 22^\circ\text{C}$ i alle rom. Skilleveggens totale areal er 20 m^2 . Oppgavene 43 – 45 omhandler denne skilleveggen. Vi antar stasjonære (tidsuavhengige) forhold.

43) La oss betegne absoluttverdien av temperaturgradienten, $|dT/dx|$ (dvs temperaturendringen pr lengde-enhet) i de tre materialtypene sponplate, gips og mineralull med henholdsvis S, G og M. Hva er korrekt rangering av temperaturgradienten i de ulike materialene?

- A) $M = S = G$ B) $M < S < G$ C) $M > S > G$ D) $S > M > G$ E) $S > G > M$

44) Luftlaget midt i veggen kan betraktes som en parallellkobling av to varmemotstander, R_σ grunnet stråling og R_κ grunnet varmeledning. (Vi ser her helt bort fra varmetap pga konveksjon.) Omtrent hvor stort er forholdet R_κ/R_σ for dette luftlaget? Vi betrakter mineralullen som et svart legeme. (Tips: $T_4^4 - T_3^4 \simeq 4T_3^3(T_4 - T_3)$.)

- A) ca $1/16$ B) ca $1/4$ C) ca 1 D) ca 4 E) ca 16

45) Det oppgis at luftlaget midt i veggen har en varmemotstand

$$R_L = \left(R_\sigma^{-1} + R_\kappa^{-1} \right)^{-1} \simeq 0.15 \text{ K/W}$$

på en kvadratmeter skillevegg. Hvor mye varmeenergi overføres da pr døgn gjennom hele skilleveggen på 20 kvadratmeter, fra studentenes leilighet til pensjonistenes leilighet?

- A) ca 0.01 kWh B) ca 0.1 kWh C) ca 1 kWh D) ca 10 kWh E) ca 100 kWh

I en reversibel Carnot-varmekraftmaskin med 3.00 mol ideell gass som arbeidssubstans utvider gassen seg isotermt ved temperatur 1000 K fra et volum $V_0 = 0.100 \text{ m}^3$ til et dobbelt så stort volum. Den isoterme kompresjonen finner sted ved 400 K. Oppgavene 46 – 50 omhandler denne varmekraftmaskinen.

46) Hvor stort arbeid W utføres av gassen under den isoterme utvidelsen?

- A) 9.3 kJ B) 11.3 kJ C) 13.3 kJ D) 15.3 kJ E) 17.3 kJ

47) Hva er varmekraftmaskinens virkningsgrad?

- A) 0.50 B) 0.60 C) 0.70 D) 0.80 E) 0.90

48) Arbeidssubstansen er en gass med adiabatkonstant 1.398. Hva er gassens maksimale volum i den beskrevne kretsprosessen?

- A) 0.20 m^3 B) 0.80 m^3 C) 1.40 m^3 D) 2.00 m^3 E) 2.60 m^3

49) Hva er (omtrent) det maksimale trykket i gassen i den beskrevne kretsprosessen?

- A) ca 2.5 atm B) ca 3.0 atm C) ca 3.5 atm D) ca 4.0 atm E) ca 4.5 atm

50) Hva er entropiendringen i gassen i den isoterme kompresjonen ved 400 K?

- A) -17.3 J/K B) -11.3 J/K C) Null D) $+11.3 \text{ J/K}$ E) $+17.3 \text{ J/K}$