

1. Ei kompakt stålkule har masse 345 g. Hvor stor er diameteren?  
Stål har massetetthet  $7.87 \text{ g/cm}^3$ .

- A) 10.4 mm      B) 21.5 mm      C) 32.6 mm      D) 43.7 mm      E) 54.8 mm

2. Neil Armstrong befinner seg på en flat måneslette og kaster en månestein horisontalt. Steinen forlater Armstrongs hånd 1.7 m over bakken med fart 18 m/s. Hvor langt unna Armstrong lander steinen? Tyngdens akselerasjon på månen er  $1/6$  av verdien her på jorda.

- A) 14 m      B) 17 m      C) 20 m      D) 23 m      E) 26 m

3. En bordtennisball har masse 2.7 g og kolliderer elastisk med en vegg. I løpet av kollisjonen øker kraften fra veggen på ballen lineært med tiden i 1 ms for deretter å avta på samme vis til null det neste millisekundet. Ballen har hastighet 25 m/s normalt inn mot veggen før kollisjonen og like stor hastighet i motsatt retning etter kollisjonen. Hva er maksimal kraft mellom vegg og ball i løpet av kollisjonen?

- A) 120 N      B) 135 N      C) 150 N      D) 165 N      E) 180 N

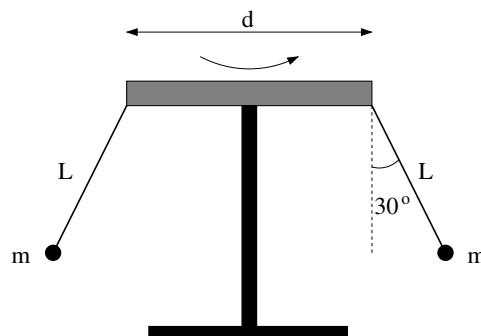
4. Kompakte stålkuler kastes ut fra toppen av Empire State Building i New York. Anta at kulene, uansett størrelse, oppnår terminalhastighet  $v_t$  før de treffer bakken. Med hvilken faktor øker det "terminale" effekttapet pga luftmotstand (dvs når maksimal hastighet  $v_t$  er oppnådd) hvis kulenes diameter økes med en faktor 4? Friksjonskraften pga luftmotstand kan antas å være proporsjonal med kulenes tverrsnitt  $A$  og kvadratet av kulenes hastighet  $v$ , dvs  $f = \rho A C_d v^2 / 2$ . Her er  $\rho$  det omgivende fluidets massetetthet, og  $C_d$  er objektets dragkoeffisient (ca 0.5 for kuler).

- A) 8      B) 16      C) 32      D) 64      E) 128

5. En planet med masse  $m$  går i sirkelbane med konstant hastighet (i absoluttverdi) rundt en stjerne med masse  $M$ . Radien i banen er  $1.5 \cdot 10^{11} \text{ m}$ , og omløpstida er 1 år. Hva er stjernens masse  $M$ ?

- A)  $2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$       B)  $3 \cdot 10^{34} \text{ kg}$       C)  $4 \cdot 10^{38} \text{ kg}$       D)  $5 \cdot 10^{42} \text{ kg}$       E)  $6 \cdot 10^{46} \text{ kg}$

6. En svingkarusell med diameter  $d = 10 \text{ m}$  roterer slik at de tilnærmet masseløse tauene med lengde  $L = 7.0 \text{ m}$  danner en vinkel på 30 grader med vertikalen:



Personen i enden av tauet kan betraktes som en punktmasse (masse  $m$ ). Hva er karusellens omløpstid?

- A) 4.3 s      B) 7.7 s      C) 11.1 s      D) 14.5 s      E) 17.9 s

7. En kloss med masse  $0.50 \text{ kg}$  og fart  $0.30 \text{ m/s}$  glir på ei friksjonsfri bordplate. Den kolliderer i et sentralt og elastisk støt med en kloss som har masse  $0.10 \text{ kg}$ , og som i utgangspunktet ligger i ro. Hva er farten til klossen med masse  $0.10 \text{ kg}$  etter støtet?

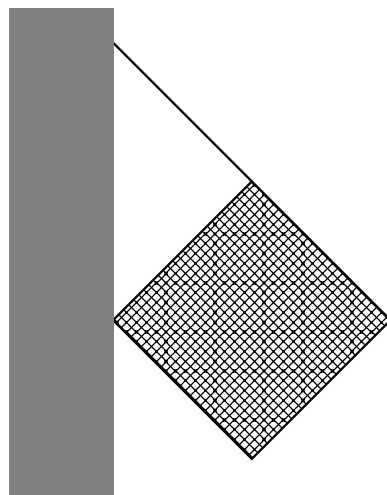
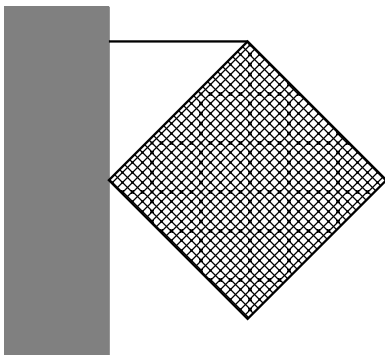
- A)  $0.20 \text{ m/s}$       B)  $0.30 \text{ m/s}$       C)  $0.40 \text{ m/s}$       D)  $0.50 \text{ m/s}$       E)  $0.60 \text{ m/s}$

8. En person med masse  $80 \text{ kg}$  står helt ytterst på et stupebrett. Stupebrettet har en jevnt fordelt masse  $120 \text{ kg}$  og er forankret til vertikale pillarer midt på og i motsatt ende. Hva er kraften på stupebrettet fra pillaren under stupebrettets midtpunkt?

- A)  $2.75 \text{ kN}$       B)  $3.54 \text{ kN}$       C)  $4.32 \text{ kN}$       D)  $1.18 \text{ kN}$       E)  $1.96 \text{ kN}$

9. Ei kvadratrisk plate med masse  $3.6 \text{ kg}$  er festet til en vertikal vegg med ei horisontal og tilnærmet masseløs snor (se figuren under, til venstre). Det er tilstrekkelig med friksjon mellom vegg og plate til at plata blir hengende som vist i figuren, med tyngdepunktet i samme høyde som det hjørnet som har kontakt med veggen. Hva er snordraget  $S$ ?

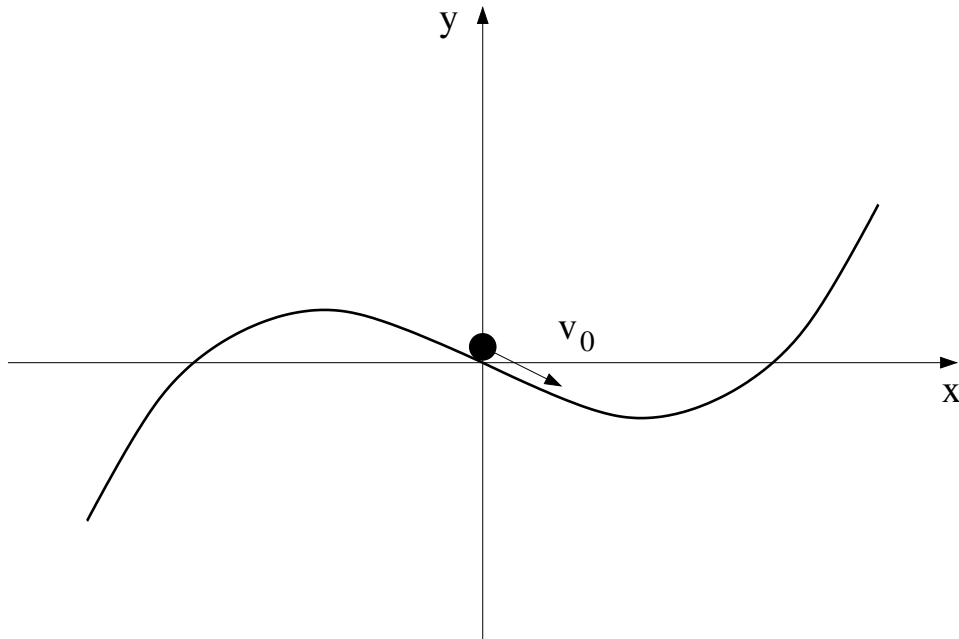
- A)  $25 \text{ N}$       B)  $30 \text{ N}$       C)  $35 \text{ N}$       D)  $40 \text{ N}$       E)  $45 \text{ N}$



10. Ei kvadratrisk plate med masse  $3.6 \text{ kg}$  er festet til en vertikal vegg med ei tilnærmet masseløs snor (se figuren over, til høyre). Det er tilstrekkelig med friksjon mellom vegg og plate til at plata blir hengende som vist i figuren, med tyngdepunktet i samme høyde som det hjørnet som har kontakt med veggen. Snora er parallell med platas ene sidekant. Hva er snordraget  $S$ ?

- A)  $25 \text{ N}$       B)  $30 \text{ N}$       C)  $35 \text{ N}$       D)  $40 \text{ N}$       E)  $45 \text{ N}$

Nr 11 – 14:



11. Ei kompakt kule ruller rent (dvs uten å gli) på en berg-og-dal-bane med form

$$y(x) = H(2x^3/L^3 - 3x/2L).$$

Her er  $y(x)$  kulas vertikale posisjon ved horisontal posisjon  $x$ . Kula har uniform massetetthet, og dens diameter er liten sammenlignet med lengdene  $H = 30$  cm og  $L = 100$  cm. Vi ser bort fra luftmotstand og andre effekter som fører til tap av mekanisk energi. Kula passerer ved  $x = 0$  med fart  $v_0$ , mot økende verdier av  $x$ . Hvor er kula når den neste gang har fart  $v_0$ ?

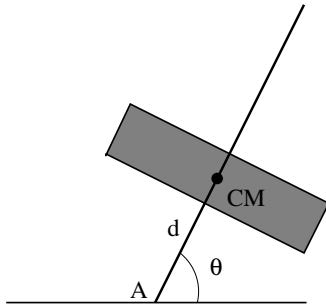
- A) 57 cm      B) 67 cm      C) 77 cm      D) 87 cm      E) 97 cm
12. Hva er banens helningsvinkel i origo?
- A)  $16^\circ$       B)  $20^\circ$       C)  $24^\circ$       D)  $28^\circ$       E)  $32^\circ$
13. Hva må  $v_0$  minst være for at kula skal nå fram til banens lokale topp-punkt et stykke til venstre for origo?
- A) 105 cm/s      B) 115 cm/s      C) 125 cm/s      D) 135 cm/s      E) 145 cm/s
14. Anta nå at  $v_0 = \sqrt{gH}$ . Hva er da, sånn omtrent, kraften fra underlaget på kula i banens lokale bunn-punkt et stykke til høyre for origo, målt i enheter av kulas tyngde  $mg$ ?

- A) 6      B) 5      C) 4      D) 3      E) 2

**15.** Ei bowlingkule har masse 7.2 kg og diameter 22 cm. Vi antar at kula er kompakt, med uniform massefordeling. Kula kastes slik at den treffer gulvet essensielt horisontalt, med startfart (for kulas massesenter) 8.0 m/s, men uten rotasjon (om massesenteret). Kinetisk friksjonskoeffisient mellom kule og gulv er 0.12. Hvor lang tid tar det før kula roterer med vinkelhastighet 30 rad/s om massesenteret? (Kula glir i hele dette tidsrommet.)

- A) 2.3 s      B) 2.0 s      C) 1.7 s      D) 1.4 s      E) 1.1 s

**16.**



En snurrebass spinner raskt omkring sin egen akse, samtidig som dens massesenter preseserer langsomt omkring den vertikale aksen. Snurrebassens akse danner en vinkel  $\theta = 60^\circ$  med horisontalplanet. Avstanden fra det faste kontaktpunktet A til snurrebassens massesenter er  $d = 5.0$  cm. Massen til snurrebassen er  $m = 45$  g. Hvor stort ytre dreiemoment virker på snurrebassen, når vi velger kontaktpunktet A som referansepunkt?

- A) 4.5 mN m      B) 11 mN m      C) 25 mN m      D) 37 mN m      E) 51 mN m

(Nr 17–20 henger delvis sammen.)

**17.** Ei kule med masse 125 g festes til ei lang fjær med fjærkonstant 12.5 N/m og senkes ned i en tyktflytende væske (sirup). Kula slippes uten starthastighet ved tidspunktet  $t = 0$ . Da er fjæra strukket en lengde 25.0 cm. Friksjonskraften på kula er proporsjonal med farten,  $f = -bv$ , med  $b = 100$  kg/s. Hvor lang tid tar det før strekket i fjæra er redusert til 5.0 cm?

- A) 33 s      B) 87 s      C) 21 s      D) 13 s      E) 69 s

**18.** Eksperimentet i forrige oppgave gjentas, men sirup er erstattet med vann. Vi antar (kanskje ikke helt realistisk) en friksjonskraft på samme form som i oppgave 17, med  $b = 1.0$  g/s. Hvor lang tid tar det nå før oscillatorens mekaniske energi er redusert med 50%?

- A) 33 s      B) 87 s      C) 21 s      D) 13 s      E) 69 s

**19.** Kula i forrige oppgave (dvs omgitt av vann) påvirkes av en ytre harmonisk kraft  $F(t) = F_0 \sin \omega t$  med amplitude 8.0 mN. Anta at systemet drives på resonans, dvs med  $\omega = \omega_0$ . Hva er da oscillatorens mekaniske energi? (Ved stasjonære forhold, dvs etter et eventuelt innsvingningsforløp.)

- A) 4.0 J      B) 9.0 J      C) 14 J      D) 19 J      E) 24 J

**20.** Hva er  $Q$ -faktoren til den svakt dempede oscillatoren i oppgavene 18 og 19?

- A) 1850      B) 1650      C) 1450      D) 1250      E) 1050

**21.** Hvor mange molekyler er det i en liter ideell gass i det som vanligvis betegnes som normaltstanden, null grader celsius og en atmosfære?

- A)  $2.5 \cdot 10^{20}$       B)  $2.6 \cdot 10^{21}$       C)  $2.7 \cdot 10^{22}$       D)  $2.8 \cdot 10^{23}$       E)  $2.9 \cdot 10^{24}$

**22.** Hvordan ser en isokor ut for en ideell gass i et  $(p, T)$ -diagram?

- A) En horisontal linje.  
B) En rett linje gjennom origo.  
C) En vertikal linje.  
D) En hyperbel.  
E) En parabel.

**23.** Trykket i atmosfæren endrer seg med høyden  $z$  over havet slik:

$$p(z) = p_0 \exp \left( - \int_0^z \frac{dz}{H(z)} \right).$$

Skalahøyden  $H(z) = RT(z)/Mg$  avhenger av  $z$  via temperaturen. Her er  $M$  luftas molare masse, ca 29 g/mol, mens  $R$  og  $g$  er hhv gasskonstanten og tyngdens akselerasjon. Anta at  $T(z)$  avtar lineært med 6.5 K pr km gjennom troposfæren, fra (i gjennomsnitt) 288 K ved  $z = 0$  til 216.5 K i høyde 11 km. Hva blir da trykket i høyde 5.5 km over havnivå? ( $p_0 = 1.0$  atm.)

- A) 0.1 atm      B) 0.3 atm      C) 0.5 atm      D) 0.7 atm      E) 0.9 atm

**24.** Både trykk og volum i en ideell gass økes med 50 prosent. Hva blir endringen i gassmolekylenes rms-hastighet ( $\sqrt{\langle v^2 \rangle}$ )?

- A) 50% økning      B) 50% reduksjon      C) 22% økning      D) 22% reduksjon      E) 125% økning

**25.** (Nr 25–27)

En ideell toatomig gass utvider seg adiabatisk (og reversibelt) fra en tilstand med temperatur 500 K, trykk 5.00 bar og volum 5.00 L, til en tilstand med dobbelt så stort volum. Hvor stor er stoffmengden?

- A) 0.20 mol      B) 0.30 mol      C) 0.40 mol      D) 0.50 mol      E) 0.60 mol

**26.** Hva er trykket etter den adiabatiske utvidelsen?

- A) 1.9 bar      B) 2.3 bar      C) 2.7 bar      D) 3.1 bar      E) 3.5 bar

**27.** Hva er temperaturen etter den adiabatiske utvidelsen?

- A) 299 K      B) 319 K      C) 339 K      D) 359 K      E) 379 K

**28.** (Nr 28–29)

I et varmepumpeeksperiment stiger temperaturen i 4 L vann i en bøtte (høytemperaturreervoaret) fra 20 til 37 grader celsius i løpet av 15 minutter. I samme tidsrom avtar temperaturen i 4 L vann i en annen bøtte (lavtemperaturreervoaret) fra 15 til 6 grader celsius. Kompressoren forbruker en konstant elektrisk effekt 105 W. Dersom vi betrakter dette som et kjøleskap, hva er da effektfaktoren? (Varmekapasiteten til vann er 4.2 J/gK. Massetettheten er 1.0 g/cm<sup>3</sup>.)

- A) 0.2      B) 1.6      C) 3.0      D) 4.4      E) 5.8

**29.** Dersom vi i forrige oppgave betrakter apparaturen som en varmepumpe, hva er da effektfaktoren?

- A) 0.2      B) 1.6      C) 3.0      D) 4.4      E) 5.8

**30.** Et fjernvarmeanlegg produserer varme ved å brenne avfall. Varmen leveres til byens husstander ved hjelp av vann som strømmer gjennom isolerte rør. På en god dag produserer anlegget en varmeeffekt 250 MW. Denne varmen skal øke temperaturen i vannet fra 11 til 95 grader celsius når det passerer gjennom anlegget. Vannet sirkulerer i et rør med indre diameter 30 cm, fra anlegget, ut til husstandene og tilbake til anlegget igjen. I løpet av en runde avgir vannet varme slik at temperaturen avtar fra 95 til 15 grader celsius. Hva er vannets strømningshastighet denne dagen? (Vannet har varmekapasitet 4.2 J/g K og massetetthet 1.0 g/cm<sup>3</sup>.)

- A) 4 m/s      B) 7 m/s      C) 10 m/s      D) 13 m/s      E) 16 m/s

Nr 31–35:

Noen termodynamiske egenskaper for etanol,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ :

Kokepunkt:  $78.24^\circ\text{C}$ . Trippelpunkt:  $-123^\circ\text{C}$ .

Molar fordampingsvarme (ved 1 atm):  $38.56 \text{ kJ/mol}$ .

Molar varmekapasitet (for gass ved konstant trykk og  $90^\circ\text{C}$ ):  $78.28 \text{ J/K mol}$ .

Van der Waals-parametre:  $a = 1.2179 \text{ m}^6 \text{ Pa/mol}^2$ ;  $b = 8.407 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$ .

**31.** Hva er trykket i en lukket beholder med 1.00 mol etanol i gassform ved  $150^\circ\text{C}$  dersom volumet er 19.5 L? Anta ideell gass.

- A) 3.3 bar      B) 2.8 bar      C) 2.3 bar      D) 1.8 bar      E) 1.3 bar

**32.** Volumet reduseres isotermt til 4.0 L. Hva er nå trykket? Bruk van der Waals tilstandsligning her.

- A) 7.3 bar      B) 8.2 bar      C) 9.1 bar      D) 10.0 bar      E) 10.9 bar

**33.** Van der Waals tilstandsligning gir et trykk  $p_c = a/27b^2$  og molart volum  $V_c = 3b$  i kritisk punkt. Hva er da kritisk temperatur  $T_c$  for etanol?

- A)  $203^\circ\text{C}$       B)  $223^\circ\text{C}$       C)  $243^\circ\text{C}$       D)  $263^\circ\text{C}$       E)  $283^\circ\text{C}$

**34.** Hvor mange kvadratiske vibrasjonsfrihetsgrader bidrar til indre energi i etanolgass ved  $90^\circ\text{C}$ , i henhold til det klassiske ekvipartisjonsprinsippet?

- A) 3      B) 5      C) 7      D) 9      E) 11

**35.** Med utgangspunkt i oppgitt kokepunkt og molar fordampingsvarme ved normaltrykk 1 atm, hva er damptrykket til etanol i trippelpunktet? (Antagelser her er ideell gass og en fordampingsvarme som er uavhengig av temperaturen.)

- A) 2.1 mPa      B) 0.32 Pa      C) 43 Pa      D) 5.4 kPa      E) 65 kPa

**36.** (Nr 36–37)

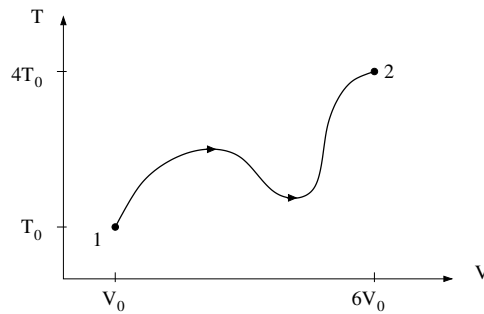
Furu har varmekapasitet  $2.8 \text{ kJ/kg K}$ , massetetthet  $0.52 \text{ g/cm}^3$  og varmeledningsevne  $0.125 \text{ W/K m}$ . Hvor mye varme skal til pr kvadratmeter kompakt tømmervegg av furu, 25 cm tykk, for å oppnå en stasjonær situasjon med 20 varmegrader inne i hytta når det er 10 kuldegrader ute? Utgangspunktet er kald hytte med 10 kuldegrader, ute, inne og i veggene.

- A) 5.5 MJ      B) 55 MJ      C) 55 kJ      D) 5.5 kJ      E) 55 J

**37.** Hvor stor varmeeffekt pr kvadratmeter hyttevegg skal til for å opprettholde 20 varmegrader inne med 10 kuldegrader ute? (Anta varmetap kun pga varmeledning.)

- A) 5 W      B) 10 W      C) 15 W      D) 20 W      E) 25 W

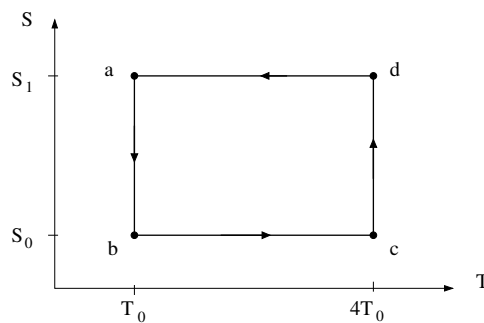
38.



Ett mol neongass (enatomig ideell gass) gjennomgår en reversibel prosess fra en tilstand 1, med temperatur  $T_0 = 200$  K og volum  $V_0 = 3.0$  L, til en tilstand 2, med temperatur  $4T_0$  og volum  $6V_0$ . Hva er gassens entropiendring  $\Delta S = S_2 - S_1$ ?

- A) 32 J/K      B) 48 J/K      C) 64 J/K      D) 80 J/K      E) 96 J/K

39.



Figuren viser en reversibel kretsprosess for en varmepumpe i et  $(S, T)$ -diagram. Temperaturen  $T_0$  er 200 K. Hva er varmepumpas effektivitetsfaktor?

- A) 0.7      B) 1.3      C) 1.9      D) 2.5      E) 3.1

40. Plancks fordelingslov for stråling fra et svart legeme gir maksimal strålingsintensitet ved en bølgelengde som er bestemt av ligningen

$$x = 5(1 - e^{-x}),$$

med  $x = hc/\lambda k_B T$ . Med håp om konvergens satser du på at  $x$  kan fastlegges ved å iterere (gjenta) ”skjemaet”

$$x_{n+1} = 5(1 - \exp(-x_n))$$

med startverdi  $x_1 = 1$  på høyre side av ligningen. Hva blir i såfall  $x_4$ ?

- A) 2.499      B) 3.061      C) 3.543      D) 4.217      E) 4.958