TFY4106 Fysikk. Institutt for fysikk, NTNU. Høsten 2014.
Øving 12. Veiledning: 11. - 14. november. Innleveringsfrist: 17. november kl 14.

Denne øvingen leveres på tradisjonelt vis; dvs det holder ikke bare å levere inn en rekke med bokstavsvar.

1) Vi har vist at lydhastigheten i luft (og andre stoffer) er fastlagt ved bulkmodulen B og massetettheten ρ: $v = \sqrt{B/\rho}$. Siden kompressibiliteten $\kappa = 1/B$ er definert som forholdet mellom (minus) resulterende relativ volumendring, dV/V, og "påtrykt" trykkendring dp, er det klart at lydhastigheten må kunne uttrykkes ved en eller flere termodynamiske størrelser, som trykk, temperatur osv. Kjennskap til luftas tilstandsligning, samt hvilken eller hvilke termodynamiske størrelser som (eventuelt) ikke endrer seg mens lydbølgen passerer et gitt sted bør være tilstrekkelig. Anta i første omgang (feilaktig, og som selveste Newton!) at det er *isoterme* forhold når lydbølger forplanter seg gjennom lufta. Med $B = -V(\partial p/\partial V)_T$ og $\rho = mN/V$ (der m er midlere masse pr molekyl i lufta; midlere masse pr mol er 29 gram), hva blir da uttrykket for v? ($\gamma = C_p/C_V$ er adiabatkonstanten.)

A) $v = \sqrt{3k_BT/2m}$ B) $v = \sqrt{k_BT/m}$ C) $v = \sqrt{8k_BT/\pi m}$ D) $v = 3\sqrt{k_BT/m}$

2) Ved nærmere ettertanke innser du at lufttrykket varierer så *raskt* omkring likevektstrykket når en lydbølge passerer en gitt posisjon at det ganske enkelt ikke er *tid* til å overføre varme hit og dit, noe som ville være nødvendig for å holde temperaturen konstant mens trykket varierer. Du har lært litt av hvert om *adiabatiske* prosesser og prøver (som selveste Laplace!) en adiabatisk tilstandsligning (til å beskrive *variasjonene* i termodynamiske størrelser), i kombinasjon med tilstandsligningen for ideell gass (til å beskrive *likevektsverdiene* til termodynamiske størrelser). Hva slags uttrykk får du nå for lydhastigheten v?

A) $v = \sqrt{\gamma k_BT/m}$ B) $v = \sqrt{k_BT/m}$ C) $v = \sqrt{k_BT/m\gamma}$ D) $v = \gamma\sqrt{k_BT/m}$

Bernard Finn (google newton sound speed finn) skriver i en interessant historisk artikkel *Laplace and the Speed of Sound* (ISIS, 1964, VOL. 55, No. 179): "Newton did not realize that heat was developed in compression and that the sound vibrations took place so fast that this could not escape but instead raised the local temperature and thus also the pressure."

3) På en brukbar sommerdag, med temperatur 20°C, hva blir Newtons verdi for v?

A) 290 m/s B) 298 m/s C) 319 m/s D) 343 m/s

4) Hva blir din, og Laplace's, korrekte verdi for v?

A) 290 m/s B) 298 m/s C) 319 m/s D) 343 m/s

5) En kretsprosess består av to isobarer og to isokorer, der trykket varierer mellom p_0 og $5p_0$ og volumet varierer mellom V_0 og $4V_0$. Arbeidssubstansen er en 2-atomig ideell gass med N molekyler. Hva er C_p og C_V for en slik gass? (For temperaturer omkring romtemperatur.)

A) $C_p = 3Nk_B/2$, $C_V = 7Nk_B/2$ B) $C_p = 7Nk_B/2$, $C_V = 3Nk_B/2$

C) $C_p = 7Nk_B/2$, $C_V = 5Nk_B/2$ D) $C_p = 3Nk_B/2$, $C_V = 5Nk_B/2$

6) Denne kretsprosessen benyttes i en varmekraftmaskin. Hvor stort arbeid W utfører gassen på omgivelsene pr syklus av kretsprosessen?

A) $W = 4p_0V_0$ B) $W = 5p_0V_0$ C) $W = 12p_0V_0$ D) $W = 20p_0V_0$

7) Hva er temperaturene i de fire "hjørnene" av kretsprosessen? (I stigende rekkefølge, og i enheter av p_0V_0/Nk_B.)

A) 1, 5, 6, 9 B) 4, 5, 6, 20 C) 1, 5, 10, 20 D) 1, 4, 5, 20

8) Hva er kretsprosessens virkningsgrad $\eta = W/Q_{\text{inn}}$, der Q_{inn} er varmen som *tilføres* gassen pr syklus? (Du kan anta at C_p og C_V er konstante for hele kretsprosessen.)

A) $\eta = 0.19$ B) $\eta = 0.45$ C) $\eta = 0.95$ D) $\eta = 1.02$

9) En ideell gass benyttes som arbeidssubstans i en varmekraftmaskin og gjennomgår følgende kretsprosess (der a, b, c og d angir fire ulike likevektstilstander for gassen):
ab: isobar utvidelse.
bc: isoterm utvidelse.
cd: isokor trykkreduksjon.
da: adiabatisk kompresjon.
Hva kan du da si om temperaturene i de ulike likevektstilstandene?

A) $T_a < T_b = T_c < T_d$ B) $T_d < T_a < T_b = T_c$

C) $T_c = T_d < T_a < T_b$ D) $T_b = T_c < T_d < T_a$

10) En ideell gass benyttes som arbeidssubstans i en varmepumpe og gjennomgår følgende kretsprosess (der a, b, c og d angir fire ulike likevektstilstander for gassen):
ab: isobar kompresjon.
bc: isoterm utvidelse.
cd: isokor trykkøkning.
da: adiabatisk kompresjon.
Hva kan du da si om temperaturene i de ulike likevektstilstandene?

A) $T_a < T_b = T_c < T_d$ B) $T_d < T_a < T_b = T_c$

C) $T_c = T_d < T_a < T_b$ D) $T_b = T_c < T_d < T_a$

11) Din venn har installert en ny varmepumpe som forbruker 1 kW elektrisk effekt når den står på. Han er spesielt fornøyd med hvor godt varmepumpa virker på ekstra kalde vinterdager, og han hevder at den leverer 10 kW selv med 20 kuldegrader ute. Hva er din kommentar til dette?

A) Du skryter av at *din* varmepumpe er enda mer effektiv.
B) Du gratulerer din venn med en god investering.
C) Du gratulerer din venn med en god investering, men legger til at han neppe får riktig så mye varme i stua på så kalde dager.
D) Du spør din venn om han har hørt om termodynamikkens andre hovedsetning og sier belærende at han aldri kan få mer enn 1 kW effekt ut av en slik varmepumpe.

12) En fryseboks er så smart konstruert at den fungerer praktisk talt like godt som en Carnot-kjølemaskin. Den er også godt isolert, og varmetapet gjennom fryseboksens vegger er ikke mer enn 500 W. Hvor mye elektrisk effekt vil denne fryseboksen forbruke dersom den skal holde 18 kuldegrader innvendig i et rom der temperaturen er 15 varmegrader?

A) 15 W B) 65 W C) 500 W D) 850 W