Institutt for fysikk, NTNU
FY1002/TFY4160 Bølgefysikk
Høst 2009

FY1002/TFY4160 Bølgefysikk

Midtsemesterprøve fredag 9. oktober 2009 kl 14.15 – 16.15

Merk av svarene dine i tabellen på side 11. Lever inn kun side 11. Husk å skrive på emnekode og kandidatnummer. (Hvis du ikke husker kandidatnummeret, må du skrive på studentnummeret.)

Tillatte hjelpemidler: C

- K. Rottmann: Matematisk formelsamling. (Eller tilsvarende.)
- O. Øgrim og B. E. Lian: Størrelser og enheter i fysikk og teknikk eller B. E. Lian og C. Angell: Fysiske størrelser og enheter.
- Typegodkjent kalkulator, med tomt minne, i henhold til liste utarbeidet av NTNU. (SR-270X, HP30S eller lignende.)
- Formelsamling i bølgefysikk er inkludert på de neste 3 sidene.

Opplysninger:

- Prøven består av 25 oppgaver. Hver oppgave har ett riktig og tre gale svaralternativ.
- Du *skal* krysse av for *ett* svaralternativ på *hver* oppgave. Avkryssing for *mer enn ett* alternativ eller *ingen* alternativ betraktes som *feil* svar og gir i begge tilfelle null poeng.
- Noen verdier: Tyngdens akselerasjon: $g = 9.8$ m/s^2, Boltzmanns konstant: $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K, Avogadros tall: $N_A = 6 \cdot 10^{23}$, Protonmassen: $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27}$ kg. Nøytronmassen: $m_n = 1.67 \cdot 10^{-27}$ kg.
- Symboler angis i kursiv (f.eks m for masse) mens enheter angis uten kursiv (f.eks m for meter). Vektorer angis med fete symboler. Enhetsvektorer angis med hatt over.
- SI-prefikser: T (tera) = 10^{12}, G (giga) = 10^9, M (mega) = 10^6, k (kilo) = 10^3, c (centi) = 10^{-2}, m (milli) = 10^{-3}, μ (mikro) = 10^{-6}, n (nano) = 10^{-9}, p (piko) = 10^{-12}.
- Notasjon: A/BC betyr $\frac{A}{BC}$ og *ikke* $\frac{A}{B} \cdot C$

Formelsamling Bølgefysikk (Mekaniske bølger, 3 sider)

Fete symboler angir vektorer. Symboler med hatt over angir enhetsvektorer. Formlenes gyldighet og symbolenes betydning antas å være kjent.

- Harmonisk plan bølge:
$$\xi(x,t) = \xi_0 \sin(kx - \omega t + \phi)$$
- Bølgeligning:
$$\frac{\partial^2 \xi(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \xi(x,t)}{\partial t^2}$$
- Fasehastighet:
$$v = \frac{\omega}{k}$$
- Gruppehastighet:
$$v_g = \frac{d\omega}{dk}$$
- Generelt for ikkedispersive udempede bølger:
$$v = \sqrt{\frac{\text{elastisk modul}}{\text{massetetthet}}}$$
- Generelt for lineær respons i elastiske medier:
$$\text{mekanisk spenning} = \text{elastisk modul} \times \text{relativ tøyning}$$
- For transversale bølger på streng:
$$v = \sqrt{\frac{S}{\mu}}$$
- For longitudinale bølger i fluider:
$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$
- For longitudinale bølger i faste stoffer (tynn stang):
$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$
- Midlere energi pr lengdeenhet for harmonisk bølge på streng:
$$\overline{\varepsilon} = \frac{1}{2}\mu\omega^2\xi_0^2$$
- Midlere energi pr volumenhet for harmonisk plan bølge:
$$\overline{\varepsilon} = \frac{1}{2}\rho\omega^2\xi_0^2$$

- Midlere effekt transportert med harmonisk bølge på streng:

$$\overline{P} = v\overline{\varepsilon} = \frac{1}{2}v\mu\omega^2\xi_0^2$$

- Midlere intensitet i harmonisk plan bølge:

$$I = v\overline{\varepsilon} = \frac{1}{2}v\rho\omega^2\xi_0^2$$

- Midlere impulstetthet for harmonisk bølge:

$$\overline{\pi} = \frac{\overline{\varepsilon}}{v}$$

- Ideell gass:

$$pV = Nk_BT$$

- Varmekapasitet ved konstant trykk (Q = varme):

$$C_p = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_p$$

- Varmekapasitet ved konstant volum (Q = varme):

$$C_V = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_V$$

- Adiabatiske forhold (dvs ingen varmeutveksling):

$$pV^\gamma = \text{konstant}$$

- Adiabatkonstanten:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V}$$

  Gass med 1-atomige molekyler: $\gamma = 5/3$. Gass med 2-atomige molekyler: $\gamma = 7/5$.

- Bulkmodul for ideell gass ved adiabatiske forhold:

$$B = \gamma p$$

- Lydhastighet i gass (m = molekylmassen):

$$v = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma k_B T}{m}}$$

- Lydtrykk:

$$\Delta p = -B\frac{\partial \xi}{\partial x}$$

- Lydnivå:
$$\beta(\mathrm{dB}) = 10\log\frac{I}{I_0}$$
med $I_0 = 10^{-12}$ W/m^2

- Dopplereffekt:
$$f_\mathrm{O} = \frac{1 - v_\mathrm{O}/v}{1 - v_\mathrm{S}/v}\, f_\mathrm{S}$$

- For sjokkbølger:
$$\sin\alpha = \frac{v}{v_\mathrm{S}}$$

- Transversal bølge på streng med massetetthet μ_1 for $x < 0$ og μ_2 for $x > 0$, innkommende bølge propagerer i positiv x-retning:

  Amplitude for reflektert bølge:
$$y_{r0} = \frac{\sqrt{\mu_2} - \sqrt{\mu_1}}{\sqrt{\mu_2} + \sqrt{\mu_1}}\, y_{i0}$$
  Amplitude for transmittert bølge:
$$y_{t0} = \frac{2\sqrt{\mu_1}}{\sqrt{\mu_2} + \sqrt{\mu_1}}\, y_{i0}$$
  Refleksjonskoeffisient:
$$R = \frac{\overline{P}_r}{\overline{P}_i}$$
  Transmisjonskoeffisient:
$$T = \frac{\overline{P}_t}{\overline{P}_i}$$

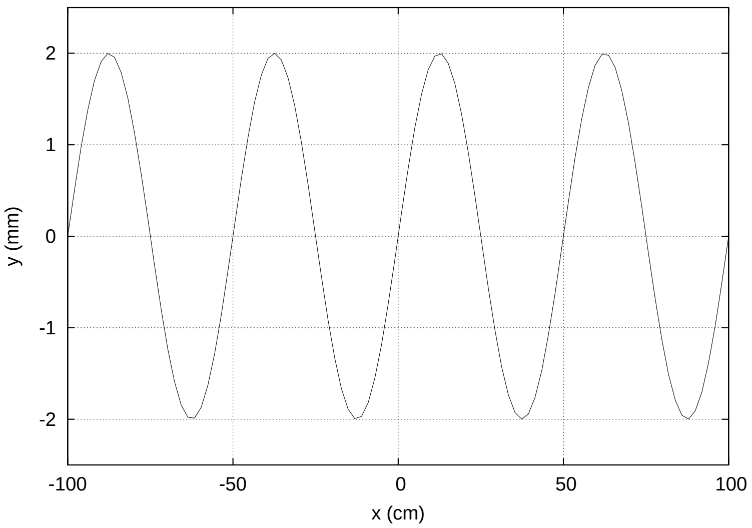
- Plan lydbølge normalt inn mot grenseflate i $x = 0$ mellom to medier med elastiske moduler og massetettheter henholdsvis E_1, ρ_1 (for $x < 0$) og E_2, ρ_2 (for $x > 0$), innkommende bølge propagerer i positiv x-retning:

  Amplitude for reflektert bølge:
$$\xi_{r0} = \frac{\sqrt{\rho_2 E_2} - \sqrt{\rho_1 E_1}}{\sqrt{\rho_2 E_2} + \sqrt{\rho_1 E_1}}\, \xi_{i0}$$
  Amplitude for transmittert bølge:
$$\xi_{t0} = \frac{2\sqrt{\rho_1 E_1}}{\sqrt{\rho_2 E_2} + \sqrt{\rho_1 E_1}}\, \xi_{i0}$$
  Refleksjonskoeffisient:
$$R = \frac{\overline{P}_r}{\overline{P}_i}$$
  Transmisjonskoeffisient:
$$T = \frac{\overline{P}_t}{\overline{P}_i}$$

Oppgaver

1) En masse er festet til ei fjær og utfører udempede harmoniske svingninger. Massens maksimale utsving fra likevekt er 5 cm og dens maksimale akselerasjon er 45 cm/s^2. Hva er da massens maksimale hastighet?

A 15 cm/s
B 25 cm/s
C 35 cm/s
D 45 cm/s



Figuren viser et øyeblikksbilde av (en del av) en harmonisk transversal bølge som forplanter seg på en streng. Dvs, $y(x)$ angir utsvinget fra likevekt. Strengen er strukket med en kraft 100 N og har en masse pr lengdeenhet 0.040 kg/m.

2) Hvilken frekvens har bølgen i figuren over?

A 1 Hz
B 10 Hz
C 100 Hz
D 1000 Hz

3) Hva er hastigheten til bølgen i figuren over?

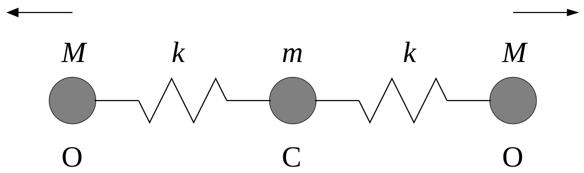
A 50 mm/s
B 50 cm/s
C 50 m/s
D 50 km/s

4) En kloss med masse m er festet til ei fjær med fjærkonstant k og utfører tvungne harmoniske svingninger. Friksjonskraften er $b \cdot v$, der v er klossens hastighet og b er en dempingskonstant. Halvverdibredden er $\Delta f = b/2\pi m$. Hva blir da halvverdibredden for en elektrisk krets bestående av en motstand R, en kapasitans C og en induktans L koblet i serie med en spenningskilde $V = V_0 \cos(2\pi f t)$?
Oppgitt (q = ladning, I = strøm):

$$L\frac{dI}{dt} + RI + \frac{q}{C} = V$$

$$I = \frac{dq}{dt}$$

A $\Delta f = R/2\pi L$
B $\Delta f = 1/\sqrt{LC}$
C $\Delta f = 1/2\pi RC$
D $\Delta f = LC/R^2$



5) Karbondioksyd, CO_2, er et lineært molekyl, som vist i figuren over. Vi antar at kreftene mellom karbon og oksygen kan beskrives ved hjelp av ideelle fjærer med fjærkonstant k. Atomene kan svinge harmonisk omkring sine likevektsposisjoner i fire såkalte "normale moder". En av disse normale modene er antydet i figuren. Her svinger oksygenatomene (masse M) i motsatt retning (med lik amplitude), mens karbonatomet (masse m) ligger i ro. Hva er vinkelfrekvensen ω til denne vibrasjonsbevegelsen?

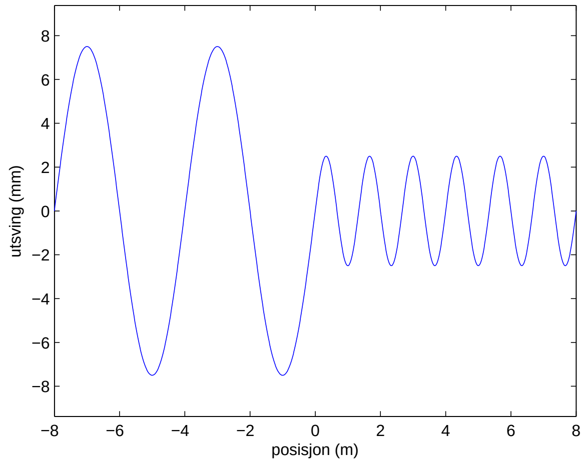
A $\sqrt{k/m}$ B $\sqrt{k/M}$ C $\sqrt{k/2m}$ D $\sqrt{k/2M}$

6) Kobber har massetetthet 8940 kg/m^3 og elastisitetsmodul (Youngs modul) 128 GPa. Hva er da lydhastigheten i ei tynn kobberstang? (1 Pa = 1 N/m^2)

A 1345 m/s
B 1884 m/s
C 2916 m/s
D 3784 m/s

7) Figuren til høyre viser et øyeblikksbilde av en transversal harmonisk bølge på en streng. I $x = 0$ er strengen skjøtt sammen, slik at vi har en masse μ_1 pr lengdeenhet for $x < 0$ og en masse μ_2 pr lengdeenhet for $x > 0$. Bølgen som kommer inn fra venstre, blir dermed delvis reflektert og delvis transmittert i $x = 0$. Bruk figuren til å bestemme forholdet y_{r0}/y_{t0} mellom amplitudene til den reflekterte og den transmitterte bølgen.

A $y_{r0}/y_{t0} = 3$
B $y_{r0}/y_{t0} = 2$
C $y_{r0}/y_{t0} = 1$
D $y_{r0}/y_{t0} = 1/2$



8) Bølgen

$$\boldsymbol{D}(x,t) = 2D_0\hat{y}\sin(kx - \omega t) + 3D_0\hat{z}\sin(kx - \omega t)$$

er

A upolarisert.
B lineærpolarisert.
C sirkulærpolarisert.
D elliptiskpolarisert.

9) En streng på en kontrabass har lengde 75 cm og er festet i begge ender. Strekket i strengen er 173 N, og massen er 6.0 g. Hva er strengens laveste resonansfrekvens (dvs grunntonen)?

A 41 Hz
B 55 Hz
C 73 Hz
D 98 Hz

10) En flaggermus flyr med hastighet 10 m/s rett mot en plan vegg og sender ut ultralydsignaler med frekvens 100 kHz. Hvilken frekvens hører flaggermusen på ekkoet (dvs den reflekterte lyden) fra veggen? (Veggen mottar og reflekterer med en og samme frekvens. Lydhastigheten er 340 m/s.)

A 120 kHz   B 106 kHz   C 93 kHz   D 81 kHz

11) Et tynt rør som er åpent i begge ender skal brukes til å lage stående lydbølger med frekvens 480 Hz. Dette skal være rørets grunntone. Hvor langt må da røret være? Lydhastigheten er 340 m/s.

A 144 mm B 208 mm C 354 mm D 611 mm

---

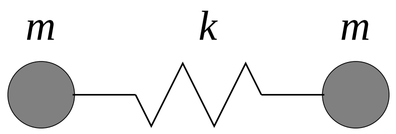
12) Et jagerfly flyr horisontalt i høyde 800 m over bakken, og med hastighet 1.75 ganger lydhastigheten (som er 340 m/s). Du tar tiden fra det øyeblikket flyet passerer rett over deg. Hvor lang tid tar det før sjokkbølgen fra flyet treffer deg?

A ca 0.9 s
B ca 1.9 s
C ca 2.9 s
D ca 3.9 s

---

13) Et toatomig molekyl med identiske atomer kan modelleres som vist i figuren til høyre, dvs som to like store masser m bundet sammen med en ideell fjær med fjærkonstant k. Hva blir vinkelfrekvensen ω for harmoniske svingninger i et slik molekyl? (Anta at massesenteret ligger i ro.)

A $\sqrt{k/4m}$
B $\sqrt{k/2m}$
C $\sqrt{k/m}$
D $\sqrt{2k/m}$



---

14) Hva innebærer det at et system er dispersivt?

A At bølger i systemet er dempet.
B At bølgehastigheten varierer med frekvensen.
C At bølger i systemet er transversale.
D At bølgehastigheten varierer med amplituden.

---

15) Du har en stemmegaffel som genererer en 440 Hz tone. Når du slår på stemmegaffelen og A-tangenten på pianoet ditt samtidig, hører du lydmaksima med 1 sekunds mellomrom. Du kan da konkludere med at pianoets A-streng genererer en tone på

A 438 Hz
B 441 Hz
C 438 eller 442 Hz
D 439 eller 441 Hz

---

16) Ei orgelpipe er åpen i den ene enden og lukket i den andre enden. Orgelpipas resonansfrekvenser opptrer med intervaller på 68 Hz. Hvor lang er orgelpipa? Anta en lydhastighet 340 m/s.

A 0.5 m
B 1.5 m
C 2.5 m
D 3.5 m

---

17) Din venn skrur opp lyden på forsterkeren slik at utsendt effekt økes med en faktor åtte. Hva blir den tilsvarende økningen i lydnivået?

A 2 dB B 9 dB C 12 dB D 16 dB

---

18) Den generelle løsningen av bølgeligningen

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$$

er

A $\xi(x,t) = \xi_0 \sin(kx - \omega t)$
B $\xi(x,t) = \xi_0 \cos(kx + \omega t)$
C $\xi(x,t) = \xi_1(x - vt) + \xi_2(x + vt)$
D $\xi(x,t) = \xi_0 \sin(kx - \omega t) + \xi_0 \sin(kx + \omega t)$

---

19) Stående bølger på en gitarstreng genererer lydbølger i lufta omkring. Bølgene på gitarstrengen og lydbølgene i lufta har samme

A bølgelengde
B frekvens
C hastighet
D polarisering

---

20) Lydhastigheten i en gass (som kan regnes som ideell) er v_0 ved trykk p_0 og temperatur T_0. Ved et trykk $2p_0$ og en temperatur T_0 er lydhastigheten, i den samme gassen, da

A $v_0/\sqrt{2}$ B v_0 C $\sqrt{2}v_0$ D $2v_0$

---

21) For en harmonisk lydbølge i luft (med trykk p, massetetthet ρ, temperatur T og adiabatkonstant γ), hva blir $\Delta p/(\partial\xi/\partial t)$, dvs forholdet mellom trykkbølgen og partikkelhastighetsbølgen?

A $\sqrt{\gamma\rho p}$ B $\sqrt{p/\gamma T}$ C $\gamma\rho/pT$ D pT/ρ

22) En radiostasjon sender ut kulebølger med effekt 50 kW. (Anta like mye energi i alle retninger.) Hva er intensiteten 3 km unna radiostasjonen?

A 442 W/m^2 B 442 mW/m^2 C 442 μW/m^2 D 442 nW/m^2

23) Din lille radio virker bare hvis den mottar signaler med intensistet 1 μW/m^2 eller mer. Hvor langt unna radiosenderen i forrige oppgave kan du maksimalt bo dersom du ønsker å lytte til nettopp denne kanalen?

A ca 7 km B ca 63 km C ca 190 km D ca 360 km

24) Anta at du har et fysisk system der harmoniske bølger oppfyller dispersjonsrelasjonen $\omega(k) = ak^\alpha$. Her er a en konstant, α er et tall, og k er bølgetallet. Hvilken påstand er da *riktig*?

A Hvis $\alpha > 1$, er gruppehastigheten større enn fasehastigheten.
B Gruppehastighet og fasehastighet er alltid like store.
C Fasehastigheten er proporsjonal med bølgelengden opphøyd i α.
D Gruppehastigheten øker med økende bølgelengde dersom $\alpha > 1$.

25) Hjuldamperen Skibladner genererer en solid bølgepuls på sin vei opp og ned langs Mjøsa. Bølgepulsen kan betraktes som en superposisjon av mange harmoniske bølger, med både korte og lange bølgelengder, og som karakteriseres ved dispersjonsrelasjonen $\omega(k) = \sqrt{gk}$. Her er g tyngdens akselerasjon. Hva kan du da si om bølgen(e) som slår inn mot land, ca en kilometer unna?

A Bølgepulsen endrer ikke form og slår mot land som *en* samlet bølgepuls.
B Bølger med *kort* bølgelengde slår først inn mot land.
C Bølger med *lang* bølgelengde slår først inn mot land.
D Bølger med ulike bølgelengder når land i helt tilfeldig rekkefølge.

Institutt for fysikk, NTNU

FY1002/TFY4160 Bølgefysikk

Midtsemesterprøve fredag 9. oktober 2009 kl 14.15 – 16.15

Emnekode: ☐ Kandidatnummer: ☐

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

NB: Kontroller at du har satt ETT kryss for hver av de 25 oppgavene.