Institutt for fysikk, NTNU
FY1002/TFY4160 Bølgefysikk
Høst 2006

Midtsemesterprøve Bølgefysikk
Tirsdag 31. oktober 2006 kl 1615 – 1800.

Svartabellen står på et eget ark. Sett tydelige kryss. Husk å skrive på studentnummer.

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. (HP30S eller lignende.)
- Formelsamling i bølgefysikk er inkludert på baksiden av dette arket.

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, Lyshastigheten i vakuum: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, 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, Vakuumpermittiviteten: $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ F/m, Vakuumpermeabiliteten: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m.
- 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: 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}.
- Trigonometriske relasjoner:

$$A \sin(\alpha - \beta) + B \sin(\alpha + \beta) = (A + B) \sin\alpha \cos\beta - (A - B) \cos\alpha \sin\beta$$

Formelsamling Bølgefysikk

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:
$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

- 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:

$$\beta(\text{dB}) = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

med $I_0 = 10^{-12}$ W/m^2

- Dopplereffekt:

$$\nu_{\text{O}} = \frac{1 - v_{\text{O}}/v}{1 - v_{\text{S}}/v}\, \nu_{\text{S}}$$

- For sjokkbølger:

$$\sin \alpha = \frac{v}{v_{\text{S}}}$$

- 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 kloss er festet til ei fjær og utfører udempede harmoniske svingninger med vinkelfrekvens ω. Ved et bestemt tidspunkt er fjæra strukket en lengde x_0 og klossens hastighet er da null. Hva er klossens maksimale hastighet?

A ωx_0
B $2\omega/x_0$
C $\sqrt{2}\omega x_0$
D ω/x_0

---

2) En kloss med masse m er festet til ei fjær med fjærkonstant k og utfører dempede svingninger. Friksjonskraften er $b \cdot v$, der v er klossens hastighet og b er en dempingskonstant. Dersom vi har *svak* demping, vil klossen svinge fram og tilbake med periode

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{k/m - b^2/4m^2}}$$

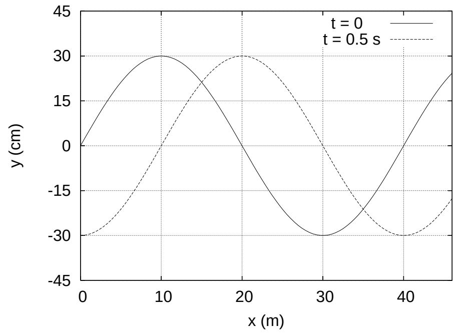
Hva blir da svingeperioden for kondensatorladningen q (og strømmen I) i en elektrisk krets bestående av en motstand R, en kapasitans C og en induktans L koblet i serie?
Oppgitt:

$$L\frac{dI}{dt} + RI + \frac{q}{C} = 0$$

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

A $T = 4\pi L/\sqrt{1/C - R^2}$
B $T = (2\pi L/R)/\sqrt{1 - L/CR^2}$
C $T = 2\pi/\sqrt{LC - L^2R^2/4}$
D $T = (4\pi L/R)/\sqrt{L/CR^2 - 1}$

Figur 1:



Figur 1 gjelder oppgavene 3-8 og viser to øyeblikksbilder av (en del av) en harmonisk transversal bølge som forplanter seg i positiv x-retning på en streng.

---

3) Hva er bølgens amplitude?

A 10 cm
B 30 cm
C 20 m
D 40 m

---

4) Hva er bølgens bølgelengde?

A 10 cm
B 30 cm
C 20 m
D 40 m

---

5) Hva er bølgehastigheten?

A 10 m/s
B 15 m/s
C 20 m/s
D 25 m/s

---

6) Hva er frekvensen?

A 0.5 Hz
B 1.0 Hz
C 1.5 Hz
D 2.0 Hz

---

7) Hva er strengelementenes maksimale hastighet?

A 39 cm/s
B 54 cm/s
C 79 cm/s
D 94 cm/s

---

8) Bølgen kan beskrives ved funksjonen $y_0 \sin(kx - \omega t - \phi)$. Hva er da fasekonstanten ϕ?

A $\phi = 0$
B $\phi = \pi/4$
C $\phi = \pi/2$
D $\phi = 3\pi/4$

---

9) Hva er lydhastigheten i hydrogengass (H_2) ved romtemperatur (300 K)? Et hydrogenatom har ett proton i kjernen (og ingen nøytroner).

A 345 m/s
B 928 m/s
C 1317 m/s
D 1441 m/s

---

10) En sommerdag synker plutselig temperaturen fra 300 K til 298 K. Hvor mye endres da lydhastigheten?

A -0.5 %
B -0.3 %
C +0.3 %
D +0.5 %

---

11) En liten høyttaler sender ut lydbølger med like stor intensitet i alle retninger. Dersom du måler et intensitetsnivå på 80 dB i en avstand 40 m fra høyttaleren, hva er da intensitetsnivået 5 m fra høyttaleren?

A 98 dB
B 104 dB
C 108 dB
D 115 dB

---

12) Den plane bølgen $\xi(\boldsymbol{r}, t) = \xi_0 \sin(\boldsymbol{k} \cdot \boldsymbol{r} - \omega t + \phi)$ forplanter seg

A i samme retning som $\boldsymbol{r}$.
B i samme retning som $\boldsymbol{k}$.
C i en retning normalt på $\boldsymbol{r}$.
D i en retning normalt på $\boldsymbol{k}$.

---

13) Bølgen

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

er

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

---

14) En gitarstreng med lengde 75 cm er festet i begge ender. Strekket i strengen er 150 N og massen er 7.2 g. Hva er frekvensen til strengens 2. harmoniske (dvs 2. laveste egenfrekvens)?

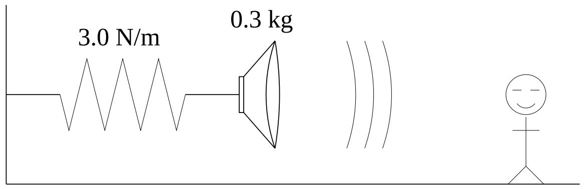
A 103 Hz
B 119 Hz
C 141 Hz
D 167 Hz

15) To biler kjører rett fra hverandre, bil nr 1 med hastighet 50 m/s og bil nr 2 med hastighet 5 m/s. Begge bilene er utstyrt med en sirene som genererer en harmonisk lydbølge med frekvens 500 Hz. Det er vindstille, og været er ellers slik at lydhastigheten denne dagen er $v = 340$ m/s. Hvilken frekvens ν_1 måler bil nr 1 fra sirenen i bil nr 2, og hvilken frekvens ν_2 måler bil nr 2 fra sirenen i bil nr 1?

A $\nu_1 = 420$ Hz og $\nu_2 = 420$ Hz
B $\nu_1 = 420$ Hz og $\nu_2 = 429$ Hz
C $\nu_1 = 429$ Hz og $\nu_2 = 420$ Hz
D $\nu_1 = 429$ Hz og $\nu_2 = 429$ Hz

16) En høyttaler med masse 0.3 kg er festet til ei tilnærmet masseløs fjær med fjærkonstant 3.0 N/m. Høyttaleren svinger harmonisk med amplitude 0.15 m og sender samtidig ut en tone på 800 Hz. Hvis du står rett foran høyttaleren, vil du høre små variasjoner i tonens frekvens. Hva er forskjellen mellom største og minste frekvens du hører? Lydhastigheten er 340 m/s.

A 1.6 Hz
B 2.2 Hz
C 2.9 Hz
D 3.6 Hz



17) Et uvær i Nordsjøen genererer østgående dønninger med bølgelengde 200 m. Bølgene beskrives av dispersjonsrelasjonen $\omega(k) = \sqrt{gk}$, der g er tyngdens akselerasjon og k er bølgetallet. Hvor lang tid tar det før dønningene når fram til Røst, 50 km lenger øst?

A ca $\pi/6$ timer
B ca $\pi/5$ timer
C ca $\pi/3$ timer
D ca $\pi/2$ timer

---

18) Sjokkbølgen fra et jagerfly som flyr horisontalt treffer deg 4.4 s etter at flyet passerte rett over deg. Lydhastigheten er 340 m/s, og flyets hastighet er 2.3 ganger så stor (dvs machtall = 2.3). I hvilken høyde flyr flyet?

A ca 0.7 km
B ca 1.7 km
C ca 2.7 km
D ca 3.7 km

---

19) Et langt, tynt rør som er åpent i den ene enden og lukket i den andre skal brukes til å lage stående lydbølger med frekvens 250 Hz. Dette skal være rørets laveste resonansfrekvens (grunntonen). Hvor langt må da røret være? Lydhastigheten er 340 m/s.

A 34 cm
B 68 cm
C 102 cm
D 136 cm

---

20) Hva blir tredje laveste resonansfrekvens i røret i oppgave 19?

A 500 Hz
B 750 Hz
C 1000 Hz
D 1250 Hz

21) Elektromagnetiske bølger forplanter seg i vakuum med hastighet

A $c = \varepsilon_0/\mu_0$
B $c = 1/\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}$
C $c = \sqrt{\varepsilon_0\mu_0}$
D $c = \varepsilon_0$

Her er ε_0 og μ_0 henholdsvis elektrisk permittivitet og magnetisk permeabilitet i vakuum.

---

22) Sammenhengen mellom tallverdien til E og B i en elektromagnetisk bølge i vakuum er

A $E = B/c$
B $E = Bc$
C $E = B$
D $E = B^2$

---

23) Himmelen er blå fordi

A sola sender ut bare blått lys.
B utstrålt effekt fra oscillerende dipoler øker med frekvensen.
C atmosfæren inneholder mye karbondioksyd.
D atmosfæren reflekterer lyset fra blå alger i havet.

---

24) Lyshastigheten i et dielektrikum er

A like stor som i vakuum.
B større enn i vakuum.
C mindre enn i vakuum.
D ikke målbar.

---

25) Fra Maxwells ligninger kan man utlede at

A tangentialkomponenten av $\boldsymbol{E}$ og normalkomponenten av $\boldsymbol{B}$
B tangentialkomponenten av $\boldsymbol{B}$ og normalkomponenten av $\boldsymbol{E}$
C tangentialkomponenten av $\boldsymbol{E}$ og tangentialkomponenten av $\boldsymbol{B}$
D normalkomponenten av $\boldsymbol{E}$ og normalkomponenten av $\boldsymbol{B}$

er kontinuerlige i grenseflaten mellom to dielektriske medier.
