

NORGES TEKNISK-
NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET,
INSTITUTT FOR FYSIKK

Faglig kontakt under eksamen:
Institutt for fysikk, Gløshaugen
Professor Arnljot Elgsæter, 93431

EKSAMEN I EMNE SIF4002 FYSIKK

Lørdag 10. august 2002

Tid: 0900 - 1500

Sensur uke 36.

Hjelpemidler:

B2 - Typegodkjent kalkulator,

Matematisk formelsamling (K. Rottmann),

Tabeller og formler i fysikk for 2FY og 3FY (Gyldendal)

NB: Det finnes et utvalg av formler bakerst i denne oppgaveteksten.

Oppgavene gitt i det følgende inneholder i alt 18 delspørsmål. Hvert av disse delspørsmålene teller like mye ved utregning av den endelige karakteren.

Oppgave 1

Grunnenhetene i Système International d'Unités (SI-systemet) er kilogram (kg), sekund (s), meter (m) og ampere (A).

a) Vis ved bruk av Newtons andre lov hvordan man kan uttrykke enheten (dimensjonen) til ei kraft ved hjelp av disse grunnenhetene. Hva heter enheten (dimensjonen) til kraft i SI-systemet?

b) Angi hva som menes med henholdsvis mekaniske spenninger og impulsstrømtetthet (impulsfluks). Angi enheten (dimensjonen) til kraft per flateenhet i SI-systemet. Hva heter denne enheten? Vis ved bruk av Newtons andre lov at mekaniske spenninger og impulsstrømtettheten har samme enhet (dimensjonen).

c) Betrakt en punktmasse som ved tida $t = 0$ s har posisjon $x = 0$ m. Eksperimentelt finner man at distansen d som punktmassen med massen beveger seg i løpet av tida t , kun er avhenger av $v = \text{konstant}$ og t . Det vil si at for denne eksperimentelle situasjonen er lengden d kun en funksjon av de fysiske størrelsene v og t . Hva kan du ut fra *analyse av kun enhetene (dimensjonen)* til disse fysiske parameterene si om hvordan lengden d avhenger av de fysiske størrelsene v og t , dvs. hva kan du ut fra dimensjonsanalyse alene si om den matematiske funksjonssammenhengen $d = f(v, t)$.

d) For lamminær strømming i Newtonske fluider er den mekaniske spenninga T_{xy} gitt ved uttrykket

$$T_{xy} = \eta \frac{\partial v_x}{\partial y}, \quad (1)$$

hvor η er fluidets skjærviskositet. Lag en enkel figur som illustrerer hva parameterene T_{xy} , v_x og y står for. Bruk likning (1) til å utlede enheten (dimensjonen) til skjærviskositeten η .

Når ei kule med radius r beveger seg med konstant hastighet i ei Newtonsk væske, finner man eksperimentelt at den krafta F som skal til for å få dette til, avhenger kun av skjærviskositeten η , kuleradien r og kulehastigheten v . Vis hvordan man ved bruk av *kun dimensjonsanalyse* kommer fram til at

$$F \propto \eta vr. \quad (2)$$

Oppgave 2

a) Gitt en punktmasse med masse m som ved tida $t = 0$ befinner seg i posisjon $x = 0$ med hastighet $v_x = v_0$ og er påvirket av ei konstant kraft F_x i x -retning, dvs. man står matematisk sett overfor et endimensjonalt system. Ved integrasjon av Newtons andre lov utled de analytiske uttrykkene for punktmassens hastighet og posisjon som funksjon av tida.

b) Ei kanonkule skytes ut med hastighet $v = |\vec{v}|$ og med vinkel 45 grader relativt horisontalplanet (x -retning). Beregn kulas høyde y og kulas posisjon langs x -aksen som funksjon av tida t . Finn et uttrykk for kulebanen $y = y(x)$ ved å eliminer t fra uttrykkene for $x(t)$ og $y(t)$.

c) Angi hvordan begrepet arbeid, W , er definert for en punktpartikkel. I varmelæra har man at uttrykket for arbeid er angitt som $dW = pdV$. Angi hva de forskjellige parameterene står for i dette siste tilfellet og hvorfor dette uttrykket er konsistent med uttrykket for arbeid, som du ga ovenfor, for en punktpartikkel.

d) Beskriv kort hva som menes med begrepet et konservativt potensial. Anta gitt et konservativt potensial $V(x)$. Gjør kort rede for hvorfor en punktmasse i statisk likevekt i dette potensialet alltid vil befinne seg i et punkt x_0 som svarer til et minimum i $V(x)$. Gjør kort rede for hvorfor man for små avvik fra likevekt har at den konservative krafta er proporsjonal med $x_0 - x$. Tips: Foreta ei Taylor rekkeutvikling av potensialet om $x = x_0$.

e) Anta gitt en ideell gass med konstant temperaturgradient dT/dx . Ved bruk av enkle argumenter fra kinetisk teori vis at varmestrømmen er gitt ved uttrykket

$$J_Q^\pm \approx \frac{p}{4}(n_f + 2)\sqrt{k_B/m} T^{1/2}. \quad (3)$$

Gjør spesielt rede for hva de enkelte parameterene står for.

Oppgave 3

a) For roterende stive legemer antar Newtons 2. lov følgende form

$$I\ddot{\theta} = T. \quad (4)$$

Beskriv kort hver enkelt fysiske størrelsene i denne likninga og angi størrelsens enhet (dimensjon). Skriv ned eksempel på analytiske uttrykk for henholdsvis I og T .

b) Angi hva som menes med begrepet en matematisk pendel. Beregn svingetida for slik en pendel.

c) Gjør kort rede for forskjellen på ei vandrende og ei stående bølge. Gjør kort rede for forskjellen mellom transverselle og longitudinelle bølger, og gi minst ett eksempel på hver at disse typer bølger.

d) Dopplers formel lyder:

$$\frac{\omega_S}{\omega_M} = \frac{f_S}{f_M} = \frac{1 - v_S/v_B}{1 - v_M/v_B}. \quad (5)$$

Angi først hva de forskjellige parameterene står for. Deretter skal formelen utledes.

Oppgave 4 (Termisk fysikk).

a) Sett opp varmelæras 1. hovedsetning og gjør kort rede for hva de ulike parameterene som inngår, står for. Gjør kort rede for hva som menes med at en prosess er henholdsvis isoterm og adiabatisk. Sett opp varmelæras 1. hovedsetning for en adiabatisk prosess.

b) Sett opp pV-diagrammet for en idealisert Otto-syklus. Angi på figuren hvilke deler av pV-diagrammet svarer til de forskjellige mekaniske trinnene i Otto-syklusen. For den adiabatisk delen av prosessen har man at

$$TV^{\gamma-1} = \text{konstant}, \quad (6)$$

hvor T er lik den absolutte temperaturen og γ er adiabatkonstanten. Bruk dette til å finne et analytisk uttrykk for temperaturen inne i sylindren like før tennpluggen aktiveres.

c) Skriv ned minst to ulike formuleringer av varmelæras 2. hovedsetning.

d) Lage ei prinsippskisse av et kjøleanlegg med kjølemedium i gass/væske likevekt. Tegn et pV-diagram for et slikt gass/væskesystem og med henvisning til dette diagrammet gjøre rede for hvordan kjøleanlegget fungerer.

e) Gitt at Carnot-prosessen gjelder en ideell gass. Vis kort hvordan man kan finne analytiske uttrykk for varmemengdene Q_H og Q_L som går inn i og ut av gassen under de isoterme delene av prosessen som foregår ved henholdsvis høg og lav temperatur.

Bruk dette til å vise at for en Carnot prosess er virkningsgraden e lik

$$e = 1 - \frac{T_L}{T_H}, \quad (7)$$

hvor T_L og T_H er den absolutte temperaturen til lav og høgtemperatur sida av Carnot-prosessen.

Diskuter kort hvordan man bør velge T_L og T_H for å få størst mulig total samfunnsmessing nytte av f.eks. et gasskraftverk.

-ooOoo-

NB: Formeler på neste side.

Noen formler som vil kunne være til hjelp (samme symboler som i forelesningsnotatene):

$$\frac{d}{dt}[m(t)\dot{\vec{r}}] = \vec{F}(\vec{r}, t) \quad \vec{F} = m\vec{a} \quad \frac{d}{dt}\vec{p} = \vec{F} \quad E = \frac{1}{2}m\vec{v}^2 + V(\vec{r})$$

$$W_k = \frac{1}{2}I\omega^2 \quad F_x = -\frac{\partial}{\partial x}V(x, y, z) \quad \vec{F}_f = -k_f\vec{v}_f \quad I = \sum_i m_i r_i^2$$

$$I = I_T + MR_T^2 \quad \vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} \quad \vec{\tau} = \frac{d}{dt}\vec{L} \quad T = F/A \quad T = E\epsilon$$

$$T = \mu\gamma \quad T(y) = Ey/r_0 \quad \delta(\ell) = \frac{\ell^3}{3EI}F \quad p = p_0 + 2\gamma/R$$

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{konstant} \quad Q = \frac{\pi R^4}{8} \frac{dp}{\eta dx} \quad F = -6\pi\eta vr \quad \ddot{\theta} + \frac{mgd}{I} \sin\theta = 0$$

$$\omega_0 = \sqrt{mgd/I} \quad \ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0 \quad x(t) = Ae^{-\delta t} \cos(\omega_d t + \theta_0) \quad \omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$$

$$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 x = a_0 \cos\omega t \quad X(t) = X_0 \cos\omega t + \phi \quad \text{når } t \text{ er stor}$$

$$X_0 = a_0 / \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\delta^2\omega^2} \quad y = y_0 \cos(kx) \cos(\omega t) \quad y = A \cos(kx \pm \omega t)$$

$$f = \pm \frac{\omega}{k} \quad |v_f| = \frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T} \quad v_g = \frac{\partial\omega}{\partial k} \quad y(x, t) = f(x \pm vt)$$

$$\ddot{\xi} - \frac{B}{\rho}\xi'' = 0 \quad B = \sqrt{\gamma k_B T/m} \quad v = \sqrt{E/\rho} \quad P \propto v\omega^2 y_0^2$$

$$I = (p_{\text{lyd}}^2/2)/(\rho v) = (p_{\text{lyd}}^2/2)/\sqrt{\rho B} \quad \beta = 10 \log_{10} \frac{I}{I_{\text{min}}}$$

$$\frac{\omega_s}{\omega_M} = \frac{f_s}{f_M} = \frac{1 - v_s/v_B}{1 - v_M/v_B} \quad f_n = n \frac{v}{2L} \quad S = 2A \cos \frac{\omega_d}{2} t \cos \omega_0 t$$

$$pV = nRT \quad \alpha = \frac{1}{\ell} \frac{d\ell}{dT} \quad C = \frac{Q}{\Delta T} \quad J_Q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad R = \sigma T^4 \quad R = e \sigma T^4$$

$$R_\nu(\nu, T) = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} / (e^{h\nu/k_B T} - 1) \quad p = \frac{1}{3} N m \overline{v^2} / V \quad pV = n \frac{2}{3} E \quad E = \frac{1}{2} m \overline{v^2}$$

$$\Delta Q = N \Delta(m \overline{v^2} / 2) = N \frac{3}{2} k_B \Delta T \quad \Delta W = p \Delta V \quad \Delta Q = \Delta U + \delta W$$

$$\frac{C_p}{C_V} := \gamma = \frac{n_f + 2}{n_f} \quad pV^\gamma = \text{konstant} \quad TV^{\gamma-1} = \text{konstant}$$

$$v_{\text{lyd}} = \sqrt{\gamma k_B T/m} \quad \sigma = \pi d^2 \quad \ell_0 = \frac{1}{n\sigma} \quad \eta = \sqrt{mk_B T/3}/\sigma$$

$$(p + \frac{a}{v_M^2})(v_M - b) = RT \quad e = \frac{Q}{Q_H} \quad e = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \quad e = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

$$\sum \frac{\Delta Q}{T} = 0 \quad dS = \frac{dQ_{\text{rev}}}{T} \quad S = k_B \ln w$$

$$f(x) = f(x_0) + \left. \frac{df(x)}{dx} \right|_{x=x_0} (x - x_0) + \frac{1}{2} \left. \frac{d^2 f(x)}{dx^2} \right|_{x=x_0} (x - x_0)^2 + \dots$$