NORGES TEKNISK-
NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET,
INSTITUTT FOR FYSIKK

Faglig kontakt under eksamen:
Institutt for fysikk, Gløshaugen
Professor Arnljot Elgsæter, 73940078

EKSAMEN I FAG SIF4002 FYSIKK

Mandag 5. mai 2003
Tid: 0900 - 1500
Sensur uke 23.

Tillatte hjelpemidler (C):
Enkel typegodkjent kalkulator (HP30S),
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 20 delspørsmål. Hvert av disse delspørsmålene teller like mye ved utregning av den endelige karakteren.

Oppgave 1

a) Enheten (dimensjonen) til alle fysiske størrelse kan uttrykkes ved hjelp av fire grunnenheter. Angi hva disse enhetene er i SI-systemet (Système International d'Unités). Dette systemet refereres også til som MKSA-systemet.

Gjør kort rede for hvorfor følgende likning er meningsløs

$$a - b + c = 0, \tag{1}$$

hvis $a =$ hastighet, $b =$ masse og $c =$ tid.

b) Utled enheten (dimensjonen) til trykk ved hjelp av grunnenhetene i SI-systemet (Tips: Gjør bruk av Newtons andre lov). Hva heter enheten (dimensjonen) til trykk i SI-systemet?

c) Anta gitt at

$$f = a^\alpha b^\beta c^\gamma. \tag{2}$$

Bruk dimensjonsanalyse til å bestemme verdiene til de ukjente eksponentene α, β og γ når $[f]$ =m/s, $[a]$ =m, $[b]$ =kg og $[c]$ =s.

d) Gjør kort rede for superposisjonsprinsippet uten bruk av matematikk og beskriv minst to eksempel.

e) Anta at dynamikken til en variabel y(t) er gitt ved likning

$$a\ddot{y} + b\dot{y} + cy = f(t). \tag{3}$$

Gjør kort rede for superposisjonsprinsippet ved bruk av matematiske begreper. Gjør spesielt rede for hvilke krav som må stilles til koefisientene a, b, og c for at superposisjonsprinsippet skal være gyldig.

Oppgave 2

a) Definer begrepet bevegelsesmengde til en punktmasse og skriv ned formen av Newtons andre lov hvor bevegelsesmengden inngår. Bruk vektornotasjon.

Skriv ned den formen av Newtons andre lov som egner seg best for beregning av dynamikken til en punktpartikkel når den ytre krafta er gitt. Bruk vektornotasjon og sett den ukjente parameteren på venstre side av likhetstegnet.

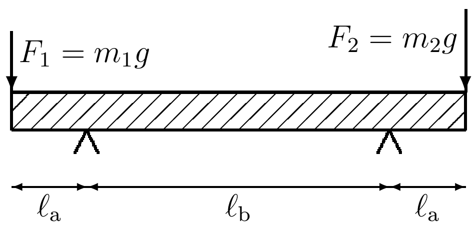
Skriv ned den formen av Newtons andre lov som egner seg best for beregning av den ytre krafta på en punktpartikkel når akselerasjonen er gitt. Bruk vektornotasjon og sett den ukjente parameteren på venstre side av likhetstegnet.

b) Definer begrepene rotasjonsmengde, dreiemoment og treghetsmoment for et stivt legeme. Skriv med sammenhengen mellom rotasjonsmengde og dreiemoment. Bruk i hvert tilfelle vektornotasjon.

c) Beskriv kort (på matematisk form) 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 $V(x)$. Hva kjennetegner henholdsvis stabil, labil og indifferent statisk likevekt.

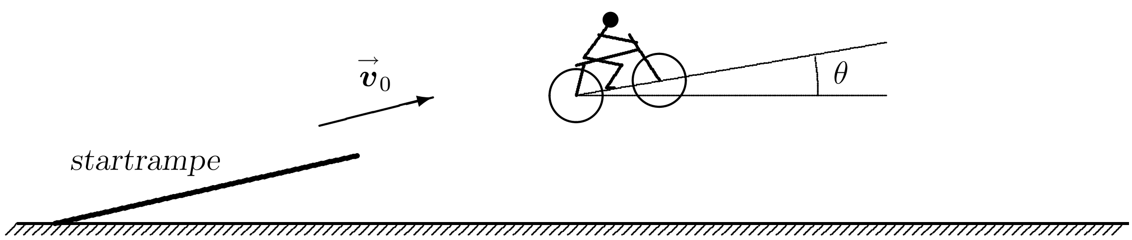
d) Skriv ned på vektorform de to fundamentale likningene som beskriver stive legemer i statisk likevekt.



En homogen bjelke med masse M er opplagret som vist i figuren, og belastet med masser m_1 og m_2 i endepunktene.

Beregn opplagringskreftene F_v og F_h på henholdsvis venstre og høyre opplagringspunkt.

e) En sirkusartist på motorsykkel kjører med hastighet v_0=85 km/time opp en startrampe for deretter å foreta et langt hopp. Vinkelen målt fra horisontallinja til ei linje gjennom navene til motorsykkelens to hjul settes lik θ.



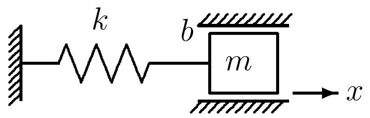
Gitt at den ytre diameteren D til motorsykkelens dekk er 66 cm. Hva er vinkehastigheten til hjulene i det motorsykkelen forlater startrampen? Hvor mange omdreininger per sekund Ω gir dette for sykkelhjulene?

Hvordan vil vinkelen θ endre seg hvis motorsykkelisten i svevet gir mer gass (øker turtallet til motoren)? Begrunn svaret. Du kan se bort fra luftmotstanden.

Hvordan vil vinkelen θ endre seg hvis motorsykkelisten i svevet i stedet trykker inn handbremsa på framhjulet? Begrunn svaret. Du kan se bort fra luftmotstanden.

Oppgave 3

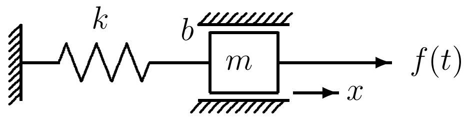
a) Anta gitt et stempel med olje-demping og som via ei lineær fjær er koplet til et fast punkt:



Fjærkonstanten er lik k, massen til stempelet er lik m og friksjonskrafta er lik $F = -bv$, hvor b er friksjonskoeffisienten og v er hastigheten til stempelet.

Skriv ned bevegelseslikninga for dette systemet. Den generelle løsninga for denne bevegelseslikninga er å finnes blant likningene samlet bakerst i denne oppgaveteksten. Finn løsningene for henholdsvis underkritisk og overkritisk demping, og skriv de ned i besvarelsen. Angi betingelsen som bestemmer om man har underkritisk og overkritisk demping.

b) Betrakt samme system som under punkt **a)** bortsett fra at stempelet i dette tilfellet påvirkes av ei ytre kraft $f(t)$:



Skriv ned bevegelseslikninga for dette systemet. Den generelle løsninga for denne bevegelseslikninga når den ytre krafta er en harmonisk funksjon av tida, er å finnes blant likningene samlet bakerst i denne oppgaveteksten. Finn denne løsninga og skriv den ned i besvarelsen.

Beskrive kort hva som menes med begrepet mekanisk resonans.

c) Gjør kort rede for hva som menes med desibelskalaen i samband med lydmålinger og angi hvordan den er definert.

d) Utsvinget $y(x,t)$ for f.eks. en svingende fiolinstreng er

$$y(x,t) = y_0 \cos(kx)\cos(\omega t). \tag{4}$$

Hva kalles ei slik bølge, og parameterene k og ω? Angi enheten (dimensjonen) for hver av disse parameterene.

e) Hvis man klimprer på en lang streng, vil et lokalt utsving bre seg utover til begge sider. Dette utsvinget er beskrevet av bølgelikninga

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - v^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0. \tag{5}$$

Vis matematisk at følgende funksjon er ei løsning av bølgelikninga

$$y(x,t) = f(x \pm vt), \tag{6}$$

og angi hvilke krav funksjonen $f(u)$ må oppfylle for at dette skal være tilfelle.

Gjør rede for hva parameter v er.

For det spesialtilfellet at $f(u) = \sin u$ får man løsninga $y(x,t) = \sin(x \pm vt)$ med alternativ formulering $y(x,t) = \sin(kx \pm \omega t)$. Uttrykk parameter v som funksjon av k og ω.

Oppgave 4

a) Gjør med ord kort rede for sammenhengen mellom atomær/molekylær bevegelse og temperatur.

Gjør rede for sammenhengen mellom grader Celsius og absolutt temperatur (grader Kelvin).

b) Sett opp varmelæras 1. hovedsetning og gjør kort rede for hva de ulike parameterene som inngår, står for.

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

c) Gitt ei stålbru med lenge $\ell = 100$ m. Beregn hvor mye lengre, $\Delta\ell$, brua er en sommerdag med T = 30 ^{o}C enn en vinterdag med –30 ^{o}C.

Beregn den mekaniske trykkspenninga (trykket) som er nødvendig for gjøre brua $\Delta\ell$ kortere.

Gitt at varmeutvidelseskoeffisienten α for stål er $1 \cdot 10^{-5}$ og at strekkmodulen E for stål er $2 \cdot 10^{11}$ Pa.

d) Beskriv Carnot-prosessen. Hvorfor er denne prosessen av så stor prinsippiell betydning?

e) Lage ei prinsippskisse av et enkelt kjøleanlegg basert på NH_3 som kjølefluid og forklar virkemåten til de ulike delene.

Hvilke endringer må gjøres for at anlegget skal kunne virke som ei varmempumpe?

-ooOoo-

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

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

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

$$I = I_T + MR_T^2 \qquad \vec{\boldsymbol{L}} = \vec{\boldsymbol{r}} \times \vec{\boldsymbol{p}} \qquad \vec{\boldsymbol{\tau}} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\,\vec{\boldsymbol{L}} \qquad T = F/A \qquad T = E\epsilon$$

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

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h = \text{konstant} \qquad Q = \frac{\pi}{8}\frac{R^4}{\eta}\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}x} \qquad F = -6\pi\eta v r \qquad \ddot{\theta} + \frac{mgd}{I}\sin\theta = 0$$

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

$$x(t) = A^{(+)}\exp\{-\alpha^{(+)}t\} + A^{(-)}\exp\{-\alpha^{(-)}t\} \qquad \alpha^{(\pm)} = \delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}$$

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

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

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

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

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

$$\frac{\omega_{\mathrm{s}}}{\omega_{\mathrm{M}}} = \frac{f_{\mathrm{s}}}{f_{\mathrm{M}}} = \frac{1 - v_{\mathrm{S}}/v_{\mathrm{B}}}{1 - v_{\mathrm{M}}/v_{\mathrm{B}}} \qquad f_n = n\,\frac{v}{2L} \qquad S = 2A\cos\left(\frac{\omega_{\mathrm{d}}}{2}t\right)\cos(\omega_0 t)$$

$$pV = nRT \qquad \alpha = \frac{1}{\ell}\frac{\mathrm{d}\ell}{\mathrm{d}T} \qquad C = \frac{Q}{\Delta T} \qquad J_{\mathrm{Q}} = -\lambda\frac{\partial T}{\partial x} \qquad R = \sigma T^4 \qquad R = e\,\sigma T^4$$

$$R_\nu(\nu, T) = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2}/(e^{h\nu/k_{\mathrm{B}}T} - 1) \qquad p = \frac{1}{3}Nm\overline{v^2}/V \qquad pV = n\frac{2}{3}E \qquad E = \frac{1}{2}m\overline{v^2}$$

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

$$\frac{\mathcal{C}_{\mathrm{p}}}{\mathcal{C}_{\mathrm{V}}} := \gamma = \frac{n_{\mathrm{f}} + 2}{n_{\mathrm{f}}} \qquad pV^\gamma = \text{konstant} \qquad TV^{\gamma-1} = \text{konstant}$$

$$v_{\mathrm{lyd}} = \sqrt{\gamma k_{\mathrm{B}} T/m} \qquad \sigma = \pi\, d^2 \qquad \ell_0 = \frac{1}{n\sigma} \qquad \eta = \sqrt{m k_{\mathrm{B}} T/3}/\sigma$$

$$(p + \frac{a}{v_{\mathrm{M}}^2})(v_{\mathrm{M}} - b) = RT \qquad e = \frac{Q}{Q_H} \qquad e = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \qquad e = 1 - \frac{T_{\mathrm{L}}}{T_{\mathrm{H}}}$$

$$\sum \frac{\Delta Q}{T} = 0 \qquad \mathrm{d}S = \frac{\mathrm{d}Q_{\mathrm{rev}}}{T} \qquad S = k_{\mathrm{B}}\ln w$$

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