NORGES TEKNISK-
NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET
INSTITUTT FOR FYSIKK

Kontakt under eksamen:
Eivind Hiis Hauge
Telefon: 73 59 36 51 / 90 85 01 31

EKSAMEN TFY4115 FYSIKK
for studenter ved Elektronikk og Kybernetikk
7.desember 2006 kl. 0900 - 1300
Bokmål

Hjelpemiddel: C

- K. Rottmann: Matematisk formelsamling
- Godkjent kalkulator, med tomt minne

Side 2 - 4: 16 spørsmål.
Vedlegg: 12 sider formler.

Eksamenssettet består av seks korte, innledende spørsmål og to større oppgaver med fem underspørsmål i hver oppgave. Der begrunnelser er naturlig, gi **korte** begrunnelser for svarene.

Svar først på de spørsmålene som er lettest for *deg*. Mange spørsmål kan besvares helt eller delvis, selv om du ikke har svart på alle de foregående.

I utgangspunktet teller hvert av de 16 spørsmålene likt, dvs 5% av totalen, med midtsemesterprøvens totalvekt satt til 20% .

Oppgavesettet er utarbeidet av Eivind Hiis Hauge og er sett gjennom av Johan Skule Høye.

Sensuren kan ventes ca. 1. januar.



## 6 KORTE SPØRSMÅL

**1.** Dersom to "sluknete" satelitter kolliderer i verdensrommet, hvilke av de følgende størrelsene er konservert:

- Satelittenes totale kinetiske energi?
- Satelittenes totale bevegelsesmengde?
- Satelittenes totale spinn relativt jordas sentrum?

**2.** Når du forgjeves dytter med kraften 500N på en ubevegelig kasse med massen 100kg, og den statiske og kinetiske friksjonskoeffisienten mot underlaget er henholdsvis $\mu_s = 0.6$ og $\mu_k = 0.4$, hvor stor er da friksjonskraften på kassen fra underlaget?

**3.** En kule med masse $M$ og radius $R$ ruller nedover et underlag som danner vinkelen $\theta$ med horisontalplanet. Hva er dreiemomentet på kula relativt kulas berøringspunkt med underlaget?

**4.** Hvorfor er varmekapasiteten ved konstant trykk større enn varmekapasiteten ved konstant volum? Er forskjellen betydelig for gasser, væsker eller faste stoff?

**5.** To kobberklosser med samme varmekapasitet har i utgangspunketet de absolutte temperaturene $T_1$ og $T_2$. De bringes så i kontakt med hverandre og temperaturene utjevnes av seg selv. Under prosessen er klossene varmeisolert fra omgivelsene. Hvilke av følgende størrelser er konservert under prosessen:

- Klossenes totale indre energi?
- Produktet $T_1 \cdot T_2$?
- Klossenes totale entropi?

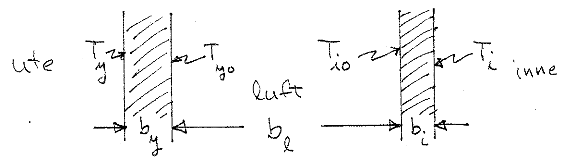
**6.** Et mekanisk svingende system med dempning adlyder differensialligningen

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = 0.$$

Hvilke analogier eksisterer mellom konstantene i denne ligningen på den ene siden, og motstand, kapasitans og induktans, koplet i serie i en elektrisk svingekrets, på den annen?

## OPPGAVE A

En vegg består av innerpanel med tykkelse $b_i$ og ytterpanel med tykkelse $b_y$ (vi ser bort fra reisverket her). Luftgapet mellom innervegg og yttervegg har bredden $b_l$, se figuren.




Temperaturene på inn- og utsiden av innerveggen er $T_i$ og $T_{i0}$. Temperaturene på ut- og innsiden av ytterveggen er $T_y$ og $T_{y0}$. I første omgang neglisjerer vi konveksjonseffekter.

**7.** Vis hvordan analogien til en seriekopling av elektriske motstander kan brukes til å skrive ned varmestrømtettheten $j_l$ som skyldes stasjonær varmeledning:

$$j_l = \frac{T_i - T_y}{\frac{b_i}{\kappa_t} + \frac{b_l}{\kappa_l} + \frac{b_y}{\kappa_t}},$$

der $\kappa_t = 0.14$ W/(mK) og $\kappa_l = 0.024$ W/(mK) er varmeledningsevnene til tre og luft. Sett inn $b_i = 2.0$ cm, $b_l = 12$ cm, $b_y = 2.5$ cm, og beregn $j_l$ når $T_i = 293$ K og $T_y = 273$ K.

**8.** Uttrykk $T_{i0}$ og $T_{y0}$ ved størrelsene gitt ovenfor. (Hint: Bruk analogien til elektrisk strøm gjennom en motstand, $I = U/R$.)

Vi vil nå danne oss et bilde av den relative betydning av stråling og varmeledning i veggens luftgap. Netto energistrømtetthet pga stråling i luftgapet mellom de to treflatene med emisjonskoeffisient $e = 0.8$ er gitt som

$$j_s = \frac{e}{2-e}\sigma(T_{i0}^4 - T_{y0}^4),$$

der $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ W/(m$^2$K$^4$) er Stefan-Boltzmanns konstant. Dersom temperaturdifferansen ikke er for stor, kan vi forenkle uttrykket ovenfor ved å skrive,

$$T_{i0}^4 - T_{y0}^4 \approx 4T^3(T_{i0} - T_{y0})$$

der $T$ er en temperatur mellom $T_{i0}$ og $T_{y0}$ som vi her kan velge som $T = (1/2)(T_i + T_y)$. Med denne tilnærmelsen blir $j_s$, i likhet med $j_l$, proporsjonal med $(T_{i0} - T_{y0})$, og de to bidragene til varmestrømmen kan da sammenlignes direkte.

**9.** Med den gitte tilnærmelsen, skriv ned uttrykket for $j_s/j_l$. Hvordan avhenger dette forholdet av $b_l$? Beregn forholdet numerisk med de oppgitte verdier for størrelsene som inngår.

**10.** Gi en kort og kvalitativ beskrivelse av hvordan konveksjonseffekter modifiserer bildet basert på varmeledning og stråling alene.

**11.** Varmeledningsevnen til mineralull er $\kappa_u = 0.047$W/(mK). Hvorfor er det likevel en fordel å fylle luftgapet med mineralull? Hvorfor bruker vi diffusjonstett papp i norske veggkonstruksjoner, og på hvilken side av mineralullen skal den plasseres? Svar kort.



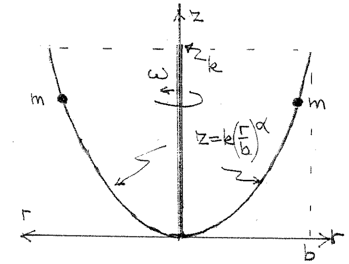
## OPPGAVE B

**12.** Hvilken sentripetalkraft (størrelse og retning) trengs for å holde et legeme med masse $m$ i en sirkelbane med radius $r$ og med vinkelhastighet $\omega$?

Et smalt rør er tredd ned på en vertikal omdreiningsakse. På røret er det sveiset en symmetrisk, toarmet bøyle med formen

$$z = k(r/b)^\alpha$$

der $\alpha > 1$. Bøylen avsluttes åpent ved $r = r_m = b$, og $z = z_m = k$. To gjennomhullete kuler, med masse $m$, er tredd ned på hver sin arm av bøylen, og kan gli langs bøylearmene med neglisjerbar friksjon. Når bøylen står i ro, ligger kulene an mot røret, i avstand $r_0$ fra omdreiningsaksen. Massene til sylinder og bøyle er neglisjerbare relativt kulenes masse. Se figuren.




**13.** Vis at når bøylen roterer, er sammenhengen mellom $\omega$ og $r$ i kulenes dynamiske likevektsposisjoner av formen

$$\omega^2 = Cr^{\alpha-2}.$$

Finn konstanten $C$ uttrykt ved tyngdens akselerasjon og systemets parametre. Hva er den maksimale verdi, $\omega_m$, vinkelhastigheten kan ha før kulene hopper av bøylen?

Bøylen, med kulene påtredd ved $r = b = r_m$, settes i gang ved $t = 0$ med en vinkelhastighet like i underkant av $\omega_m$. Med smøring mellom sylinder og omdreiningsakse gir friksjonen likevel et lite dreiemoment på det roterende system av formen $\tau = -\eta\omega$, der $\eta$ er en konstant. Vi ser bort fra luftmotstanden.

**14.** Vis at bevegelsesligningen for det roterende systemet da er

$$2mr^2\frac{d\omega}{dt} + 2m\omega\frac{dr^2}{dt} = -\eta\omega,$$

der $r_0 < r(t) < r_m$.

**15.** Svar først ut fra rent fysiske betraktninger: Vil $r(t)$ som funksjon av $t$ avta eller vokse når friksjonen virker på bevegelsen? Vis så med utgangspunkt i relasjonen i pkt.13 og bevegelsesligningen i pkt.14 at $r(t)$ har formen

$$r^2(t) = r_m^2 - Kt \quad ; \quad r_0 < r(t) < r_m,$$

og bestem konstanten $K$ som funksjon av systemets parametre.

**16.** Bestem så funksjonen $\omega(t)$ for tidsintervallet $0 < t < t_0$, der $r(t_0) = r_0$, for de to tilfellene $\alpha = 4$ og $\alpha = 3/2$. Skisser $\omega(t)$ for hvert av de to tilfellene.