



Faglig kontakt under eksamen:  
Kim Sneppen  
Telefon: (735) 93643

**Eksamen i SIF4004 FYSIKK for  
ELEKTRONIKK OG TEKNISK KYBERNETIKK**

Onsdag 12. desember 2001  
09:00–15:00

Tillatte hjelpemidler: Alternativ C

Godkjent lommekalkulator.

K. Rottman: Matematisk formelsamling (alle språkutgaver).

O.H. Jahren og K.J. Knudsen: Formelsamling i matematikk.

Et A4-ark med fysikkformler for SIF4004, egne notater på dette arket er tillatt.

Dette oppgavesettet er på 4 sider, pluss et vedlegg på 3 sider.

**Oppgave 1**

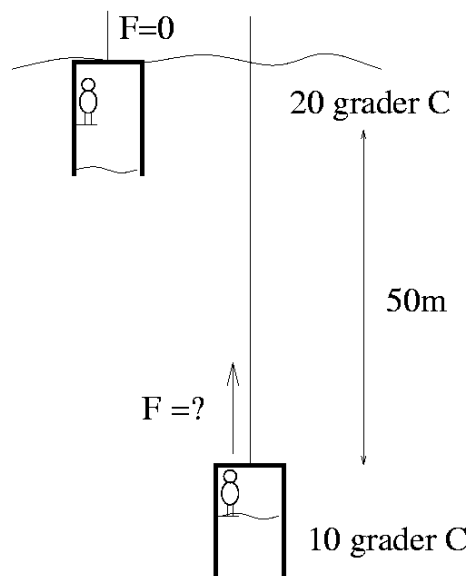
Et dekompresjonskammer for dykkere består i hovedsak av en sylinder med åpen bunn. Sylinderen inneholder  $7.9 \text{ m}^3$  luft med massetetthet  $1.2 \text{ kg/m}^3$  og temperatur på  $20^\circ \text{C}$  ( $=293 \text{ K}$ ) ved overflaten (1 atm trykk), se figuren til høyre. Sylinderen er laget av en jernlegering med massetetthet  $7000 \text{ kg/m}^3$ .

- a) Hvilken masse må sylinderen minst ha for at den skal kunne senkes helt ned i vannet (ikke flyte)? (Venstre del av figuren.) (Regn med at metallet også har et volum. Anta at høyden på sylinderen er så liten at en her kan se bort fra kompresjonen av luften i kammeret.)

Anta at sylinderen nå senkes til et dyp på 50 m der temperaturen er  $10^\circ \text{C}$ .

- b) Hva blir volumet av luften i sylinderen?  
c) Hva blir kraften på stangen som er festet til toppen av sylinderen?  
d) Sylinderen blir nå løftet så raskt opp til overflaten at luften inne i sylinderen utvides adiabatisk. Hva er temperaturen til luften når trykket inne i sylinderen har falt til 1 atm ( $=101300 \text{ Pa}$ )?

Anta at luftmengden i sylinderen er konstant, og at man kan regne luft som en ideell gass med  $\gamma = C_P/C_V = 1.4$ . Tettheten til sjøvann er  $1025 \text{ kg/m}^3$ .

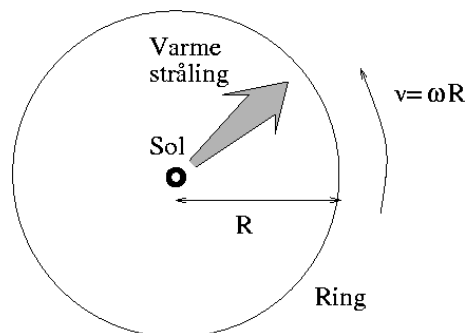


**Oppgave 2**

Solen har en radius på  $R_0 = 7.0 \cdot 10^8$  m. Strålingsenergien per tidsenhet fra solen er  $L_0 = 3.8 \cdot 10^{26}$  W. Massen til solen er  $2 \cdot 10^{30}$  kg.

- a) Anta at solen stråler som et svart legeme. Hva må overflatetemperaturen på solen være for å gi utstrålingen  $L_0$ ?

Dyson og Niven har foreslått at man bygger en ring om solen for å få mer landbruksareal til rådighet, se figuren til høyre. Anta at radien av denne ringen er  $R = 150 \cdot 10^9$  m. Anta videre at bredden av ringen er mye mindre enn  $R$ .



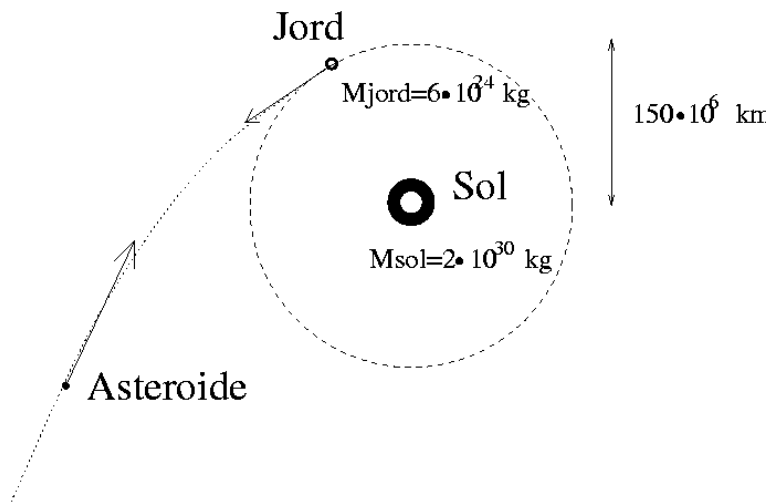
- b) Hvilken vinkelhastighet av ringen vil gi en følelse av tyngdekraft som på jorden ( $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ) for en kvinne som går på innsiden av ringen?  
Anta at ringen har en bredde på 1 million kilometer.
- c) Hva er den totale energimengden ringen mottar fra solen per sekund?
- d) Anta at energien utstråles som svart-legeme stråling på begge sider av ringen. Hva er temperaturen av ringen?

I virkeligheten er det en endelig varmeledning gjennom ringen, og dermed en temperaturforskjell mellom siden som vender mot solen og siden som vender vekk fra solen.

- e) Anta at ringen er lagd av en legering med varmeledningskoeffisient  $\lambda = 50 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ , og at ringen er 1 m tykk. Dersom innsiden av ringen er 60 grader celsius, og utsiden er 48 grader celsius, hva er da varmestrømmen gjennom hele ringen?

**Oppgave 3**

En kuleformet asteroide med radius på 5 km er lagd av en jernlegering med massetetthet  $8000 \text{ kg/m}^3$ . Asteroiden kommer inn i solsystemets ytterkant med en hastighet på  $10 \text{ km/s}$  relativt til solen (da er potensiell energi  $U = 0$ ). Den faller først i solens tyngdefelt, så i jordens og rammer så jorden frontalt, dvs. motsatt jordens bevegelsesretning om solen (se figuren til høyre).

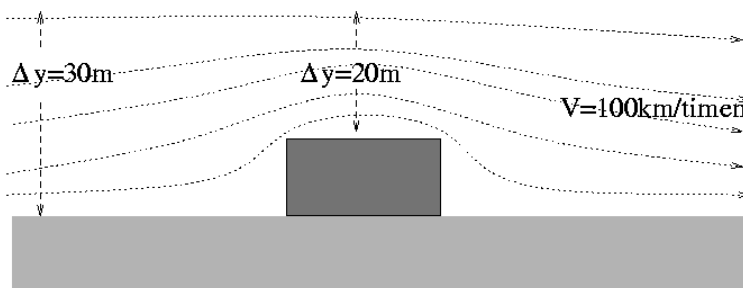


**Oppgitt:** Anta at jorden roterer om seg selv med omløpstid på 24 timer, og at den beveger seg i en sirkulær bane om solen med en omløpstid på 365 dager à 24 timer. Solens masse er  $M_s = 2 \cdot 10^{30}$  kg, jordens masse er  $M_j = 6 \cdot 10^{24}$  kg. Jordens radius er  $r = 6400$  km. Jord-sol avstanden er  $150 \cdot 10^9$  m. Varmekapasiteten til vann er  $4.2 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$ . Fordampningsvarmen til vann er  $2.3 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$ .

- Hva er jordens fart om solen?
- Hva er farten til asteroiden relativt til solen like før den når jorden?
- Hvilken varmeenergi kan maksimalt lages ved sammenstøtet dersom farten til asteroiden relativt til jorden var 80 km/s like før sammenstøtet?
- Anta at en energi på  $10^{25}$  J frigjøres til oppvarming og fordampning av vann med opprinnelig temperatur  $20^\circ\text{C}$ . Hvor mye vann kan da maksimalt bli omdannet til vanndamp? (anta at alt involvert vann først øker temperaturen til  $100^\circ\text{C}$ , og fordamper etterpå uten mer oppvarming).
- Anta nå istedet at jorden rammes tangentielt på ekvator, og motsatt jordens rotasjonsretning om seg selv. Hvor mye lenger vil et døgn bli? Dvs. hvor mye vil jordens rotasjonstid endres? (Regn jorden som en homogen kule, og sett relativ hastighet like før støtet til 80 km/s)

#### Oppgave 4

Vi ser på et langt hus med høyde 10 m, plassert på en stor flat mark. Anta at luften som passerer huset skal passere et tverrsnittsareal over huset, med høyde 20 m over takkammen på huset. Dvs. luften skal strømme i et luftrør der hastigheten er 100 km/h og der



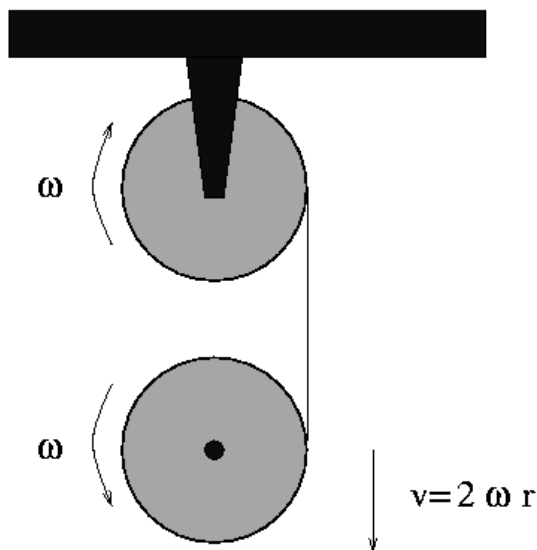
vertikal utstrekning er 30 m til en høyere hastighet der vertikal utstrekning av luftrøret er 20 m. Se figuren til høyre. Anta laminær strømning, og at luften er inkompressibel med en massetetthet på  $1.2 \text{ kg/m}^3$ . Anta også at det ikke er friksjon mellom luft og hus/mark.

- Dersom vinden fjernt fra huset er 100 km/h, hva er da vindens hastighet like over huset?
- Dersom trykket fjernt fra huset er  $p_0 = 1 \text{ atm} = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ , hva er så trykket like over huset?
- Dersom trykket inne i huset er  $p_0 = 1 \text{ atm}$ , hva er da netto kraft fra luft på hustaket, når huset har et areal på  $100 \text{ m}^2$ ?

**Oppgave 5**

To sirkulære skiver er montert slik figuren til høyre viser. Skivene er massive og har homogen massefordeling. De har samme masse  $m = 1$  kg og samme radius  $r = 0.1$  m. Den øverste skiven kan rotere fritt rundt en horisontal akse gjennom sentrum. En snor er festet mellom skivene slik at den nederste kan falle fritt. Snoren er viklet rundt begge skivene, så deres rotationsfrekvens  $\omega$  følger no-slip betingelsen (fart  $v$  av nederste skive  $v = 2\omega r$  da denne farten oppnås ved like store bidrag fra begge skiver.)

- Finns akselerasjonen  $a$  av massesenteret til den nederste skiven.
- Finns den kinetiske energien av den øverste skiven når den nederste skiven har falt 1 m. (Skiven starter i ro med  $\omega = 0 \text{ s}^{-1}$ ).



## FORMLER FOR FAG SIF4004 FYSIKK

### Punktlegemers og stive legemers mekanikk, kraftlover etc.

Newton's 2. lov	$\vec{F} = m\vec{a} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}\vec{p}$	der totalkraft $\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i$ er vektorsum af alle kræfter på legeme. $\vec{p} = m\vec{v}$ er bevægelsesmengde. ( <i>Momentum</i> )
Newton's 3. lov	$\vec{F}_{A \rightarrow B} = -\vec{F}_{B \rightarrow A}$	virkning er lik motvirkning
Tyngdekraft	$\vec{F} = m\vec{g} = -mg\hat{e}_z$	$g \approx 9.81 \text{ m/s}^2$ er tyngdens akselerasjon
Gravitasjonskraft	$\vec{F} = -m_1 m_2 G \vec{e}_r / r^2$	der $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$ og $\vec{e}_r = \vec{r}/r$ .
Friksjonskraft (s)	$F_f \leq \mu_s N$	der $N$ er normalkraften (en føringskraft)
Friksjonskraft (k)	$F_f = \mu_k N$	$\mu_s$ statisk, $\mu_k$ kinetisk friksjonskoeffisient
Fjærkraft	$F = -Kx$	der $x$ er utslaget fra likevektsposisjonen
Fra potensial	$\vec{F}(\vec{r}) = -\nabla U(\vec{r})$	for konservative krefter, $\nabla \times \vec{F}(\vec{r}) = 0$
Sentrifugalacceleration	$\vec{a}_s = -\omega^2 \vec{r}_\perp$	(der $\vec{r}_\perp \cdot \vec{\omega} = 0$ )
Kraftmoment	$\vec{M} = \sum_i \vec{r}_i \times \vec{F}_i$	(= <i>kraft</i> · <i>arm</i> ). Engelsk: <i>Moment of force</i>
Dreiemoment	Kraftmoment	når $\sum_i \vec{F}_i = 0$ . Engelsk: <i>Torque</i> $\vec{T}$
Masse(tetthet)	$M = \int d^3r \rho(\vec{r})$	$M$ masse, $\rho$ massetetthet
Massesenter	$M \vec{R}_C = \int d^3r \rho(\vec{r}) \vec{r}$	der $\vec{R}_C$ er massesenteret (massemiddelpunktet)
Trehetsmoment:	$I = \int d^3r \rho(\vec{r}) r_\perp^2$	$r_\perp$ avstanden til rotasjonsaksen Engelsk: <i>Moment of inertia</i>
Trehetsmoment:	Homogen (i) radius $r$ sylinder: $I = \frac{1}{2}Mr^2$ , (ii) radius $r$ kule: $I = \frac{2}{5}Mr^2$ ,	
Trehetsmoment:	$I = I_C + M\ell^2$	parallellakse teorem; $\ell$ avstand til massesenterakse $C$
Dreieimpuls	$\vec{L} = \sum_i \vec{r}_i \times m_i \vec{v}_i$	Sum $\vec{L} = \sum_i \vec{L}_i$ er over alle partikler.
Dreieimpuls (stift legeme)	$\vec{L} = I\vec{\omega}$	Om symmetriakser gjennom $\vec{R}_C$
Likevektsbetingelse:	$\vec{F} = 0, \vec{M} = 0$	
Spinndynamikk	$\vec{M} = \frac{d}{dt}\vec{L} = \frac{d}{dt}I\vec{\omega}$	med $\vec{\omega}$ vinkelhastigheten ( $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ).
Arbeid	$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s}$ (forskyvning), $dW = \vec{T} \cdot d\vec{\theta}$ (dreining)	
Effekt	$P = \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$ (forskyvning), $P = \vec{T} \cdot \vec{\omega}$ (dreining)	

### Punktlegemers og stive legemers mekanikk, bevaringslover

Total energi $E$ , total bevægelsesmengde $\vec{p}$ , og total dreieimpuls $\vec{L}$ er bevart i et lukket system		
Kinetisk energi	$K_t = \frac{1}{2}m\vec{v}^2 = \frac{1}{2m}\vec{p}^2$	translasjonsbevegelse
Kinetisk energi	$K_r = \frac{1}{2}I\vec{\omega}^2 = \frac{1}{2I}\vec{L}^2$	rotasjonsbevegelse
Potensiell energi	$U = -m\vec{g} \cdot \vec{r}$	i jordens tyngdefelt
Gravitasjonsenergi	$U = -m_1 m_2 G / r$	$G$ gravitasjonskonstanten
Energi i fjær	$U = \frac{1}{2}Kx^2$	(noter $-\frac{dU}{dx} = -Kx = \text{Fjærkraft}$ )

**Kontinuumsmekanikk**

Tetthet	$\rho(\vec{r}) = m n(\vec{r})$	$n$ antallstetthet, $m$ molekylmasse, $\rho$ massetetthet
Molekylmasse	$m = A m_u$	$A$ total atomvekt, $m_u = 1.660\,540 \times 10^{-27}$ kg
Mol	$n \text{ mol} = n N_A$	der $N_A = 6.022\,137 \times 10^{23}$ er Avogadro's tall (1000 mol molekyler med atomvekt $A$ veier $A$ kg)
Young's modul $Y$	$Y dL = (L/A) dF$	Prøve med lengde $L$ og tykkelse $A$ , strekkraft $F$
Termisk utvidelse	$dL = \alpha_L L dT$	$L$ lengde, $T$ temperatur, $\alpha_L$ lineær utvidelseskoeff.
Bulkmodul $K$	$K dV = -(V/A) dF$ $K = -V dP/dV$	Prøve med volum $V$ og overflate $A$ , trykkraft $F$ kalles også kompressibilitet
Termisk utvidelse	$dV = \alpha_V V dT$	$L$ lengde, $T$ temperatur, $\alpha_V = 3\alpha_L$
Volumarbeid	$dW = p dV$	trykk $p$ , volum $V$
Strekkearbeid	$dW = F d\ell$	Strekkekraft $F$ , lengde $\ell$
Tryk i statisk væske	$dp/dh = -\rho g$	høyde $h$ og tyngdeacceleration $g$
Kontinuitetsligning	$\rho \cdot A \cdot v = \text{konstant}$	langs strømrør. $A$ er arealet og $v$ er hastigheten.
Bernoulli's lov	$\frac{1}{2} \rho v^2 + p + \rho g h$	er konstant langs strømlinjer. $\rho$ massetetthet, $v$ hastigheten, $h$ er høyde og $p$ er trykket.

**Masse- og varmetransport**

Massestrøm/areal	$\vec{j}_m = \rho \langle \vec{v} \rangle$	Massetetthet ganger midlere hastighet
Shear stress	$F = \eta A v_x / l_y$	$\eta$ viskositet, $v_x$ hastighet langs flade, $l_y$ afstand til flade med areal $A$ .
Massestrøm	$I_m = \frac{\pi r^4}{8} \frac{\rho r^4}{\eta} \frac{dp}{dx}$	Laminært i radius $r$ rør; $\frac{dp}{dx}$ trykgradient
Varmeledning	$j_Q = \frac{dQ}{Adt} = \lambda \frac{dT}{dx}$	$\lambda$ varmeledningskoeffisient, $j_Q$ varmemengde trans- portert gjennom en flate, pr. areal- og tidsenhet
Varmeledning	$H = \frac{dQ}{dt} = \lambda A \frac{T_H - T_C}{L}$	$H$ varmemengde per tid gjennom areal $A$ transporteret fra temperatur $T_H$ til $T_C$ .
Stefan-Boltzmann	$j_Q = \varepsilon \sigma T^4$	$\sigma = 5.669\,6 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ . Svart: $\varepsilon = 1$

**Termodynamikk, statistisk fysikk**

Ideell gasslov	$pV = N k_B T$	med $k_B = 1.380\,658 \times 10^{-23}$ J/K (Boltzmann)
Adiabatisk prosess	$pV^\gamma = p_0 V_0^\gamma$	når $\gamma = C_p/C_V$ er konstant.
Første lov	$Q = \Delta U + W$	hvor $Q$ input varme, $\Delta U$ indre energitilvækst og $W$ output arbeide. innholder i termodynamikkens første lov
Termodynamisk id.	$T dS = dU + p dV$	Helmholts fri energi
Fri energi	$F = U - TS$	For idealgas med $N$ partikler
Indre energi	$\Delta U = N C_V \Delta T$	hvor $w$ antal mikrotilstande
Entropi	$S = k_B \ln(w)$ , $dS = \frac{dQ}{T}_{rev}$	hvor sidste lighedstegn er for Carnot cycle.
Motor effektivitet	$e = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$	per partikel, Enatomig: $f = 3$ , toatom: $f = 5$ .
Ekvipartisjonspri.	$C_V = \frac{1}{2} f k_B$	per partikel, gang med $N_A$ hvis per mol.
Ekvipartisjonspri.	$C_P = C_V + k_B$	for <i>solider</i> per partikel
Dulong-Petit	$C = 3k_B$	
Maxwellfordeling	$\left(\frac{m}{2\pi k_B T}\right)^{3/2} e^{-m\vec{v}^2/2k_B T}$	sannsynlighetstetthet for hastighet $\vec{v}$

## Noen fysiske konstanter

$$m_e = 9.109\,390 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$k_B = 1.380\,658 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$1 \text{ atm} = 101\,325 \text{ Pa (kg/ms}^2)$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$m_u = 1.660\,540 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$R = N_A k_B = 8.314\,510 \text{ J/mol K}$$

$$0 \text{ }^\circ\text{C} = 273.16 \text{ K}$$

$$G = 6.672\,59 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$$

$$N_A = 6.022\,137 \cdot 10^{23} = 1 \text{ g}/m_u$$

$$\sigma = 5.670\,51 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

$$N_2 : A = 28, O_2 : A = 32$$

## Dekadiske prefikser

E	exa	$10^{18}$	P	peta	$10^{15}$
T	tera	$10^{12}$	G	giga	$10^9$
M	mega	$10^6$	k	kilo	$10^3$
h	hekto	$10^2$	da	deka	$10^1$
d	desi	$10^{-1}$	c	centi	$10^{-2}$
m	milli	$10^{-3}$	$\mu$	mikro	$10^{-6}$
n	nano	$10^{-9}$	p	piko	$10^{-12}$
f	femto	$10^{-15}$	a	atto	$10^{-18}$

## Størrelse

## SI-enhet

Navn	Vanlig symbol	Navn	Symbol
Vinkelfrekvens	$\omega$	invers-sekund	$s^{-1}$
Vinkelakselerasjon	$\alpha$	sekund $^{-2}$	$s^{-2}$
Vinkel	$\alpha, \beta, \gamma, \dots$	radian	rad
Romvinkel	$\Omega$	steradian	sr
Lengde	$\ell$	meter	m
Areal	$A$	kvadratmeter	$m^2$
Volum	$V$	kubikmeter	$m^3$
Tid	$t$	sekund	s
Hastighet	$u, v$	meter pr. sekund	m/s
Frekvens	$f, \nu$	Hertz	Hz= $s^{-1}$
Bølgelengde	$\lambda$	meter	m
Masse	$m$	kilogram	kg
Kraft	$F$	Newton	N= $\text{kgm/s}^2$
Trykk	$p$	Pascal	Pa= $\text{N/m}^2$
Arbeid	$A, W$	Joule	J= $\text{kgm}^2/\text{s}^2$
Energi	$E, W$	Joule	J=Ws
Effekt	$P$	Watt	W=J/s
Termodynamisk temperatur	$T, \Theta$	Kelvin	K
Celsiustemperatur	$T, t, \Theta$	grad Celcius	$^\circ\text{C}$
Varme, varmemengde	$Q$	Joule	J=VAs
Varmestrøm	$I_Q$	Watt	J/s=W
Varmestrømtetthet	$j_Q$	Watt pr. $m^2$	J/ $m^2s$ =W/ $m^2$
Viskositet	$\eta$	poise	1 poise= 0.1 N · s/ $m^2$