



Faglig kontakt under eksamen:
Kåre Olaussen
Telefon: 93652

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

Onsdag 1. august 2001

09:00–15:00

Tillatte hjelpemidler: Alternativ B

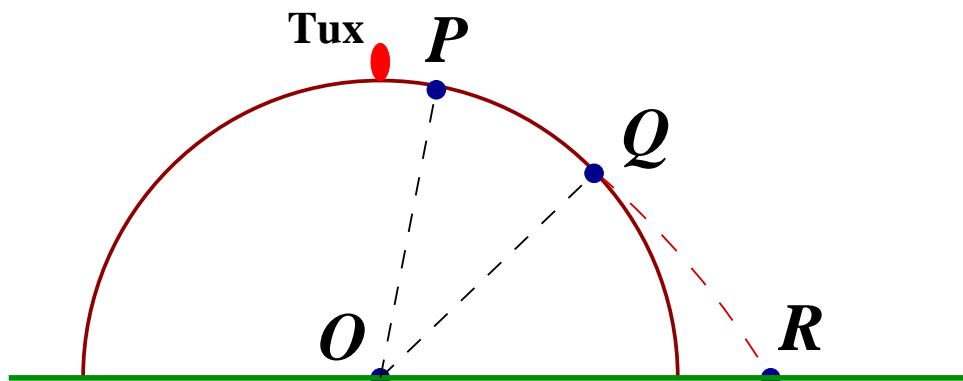
(Alternativ B): Godkjent lommekalkulator.

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 3 sider, pluss et vedlegg på 3 sider.

Oppgave 1



En dropout fra Harvard har fraktet pingvinen Tux til Antarktis, og ondskapsfullt (men angivelig for å undersøke vitenskapelig om pingviner kan fly) plassert ham på toppen av en halvkuleformet, omhyggelig glattpolert isblokk (som illustrert på figuren over).

Isblokken har en radius på 500 meter (dette er en dropout med store ressurser) og den statiske friksjonskoeffisienten mellom Tux og isblokken kan settes til $\mu_s = 0.15$.

- a) Tux beveger seg ytterst langsomt og forsiktig utover isblokken, men når han kommer fram til punktet P så begynner han å skli.

Hvor stor er vinkelen $\theta_1 \equiv \mathbf{ROP}$?

Oppgitt: Du kan sette tyngdens akselerasjon i Antarktis til $g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

- b) Tux faller overende og sklir med økende hastighet (fra $v = 0$ i punktet P) nedover isblokken. Så lenge han følger isblokken vil han bevege seg langs en sirkelbane. I denne situasjonen antas den kinetiske friksjonskoeffisienten å være $\mu_k = 0$.

Tegn en figur som viser hvilke krefter som virker på Tux mens han sklir nedover isblokken.

- c) Hvilken hastighet v_Q har Tux når han har sklidd fram til punktet Q ? Oppgi svaret på analytisk form, som funksjon av vinklene θ_1 og $\theta_2 \equiv \angle ROQ$.
- d) Hvilken sentripetal-akselerasjon (dvs. akselerasjon i retningen QO) må Tux ha for at han skal følge sirkelbanen når han er i punktet Q ?
- e) Punktet Q er valgt slik at når Tux har sklidd fram dit har farten blitt så stor at han letter fra isblokken.

Hvor stor er vinkelen $\theta_2 = \angle ROQ$?

- f) Det viser seg at pingviner ikke kan fly, så Tux faller videre fra Q som en punktpartikkel inntil han treffer horisontalplanet i punktet R . Luften i Antarktis er så tynn og kald og klar at du anta at han faller friksjonsfritt.

Beregn falltiden og avstanden OR .

Tips: Hvis du ikke klarte å bestemme vinkelen θ_2 så kan du sette $\theta_2 = 70^\circ$ i denne oppgaven.

- g) Hvilken horisontal og vertikal hastighet har Tux når han treffer R ?

Oppgave 2

- a) En huseier i Trondheim bruker årlig 12 000 kWh til elektrisk oppvarming av sin bolig. Utetemperatur i fyringsperioden kan antas å være konstant lik 0°C .

Anslå hvor mye strøm hun vil spare på å senke innetemperaturen fra 21°C til 18°C .

- b) Vil dette anslaget endre seg dersom utetemperaturen i fyringsperioden *i gjennomsnitt* er 0°C , men varierer over sesongen? Begrunn svaret.
- c) Som et alternativ vurderer hun å installere varmpumpe (men beholde innetemperaturen på 21°C). Anta at hun da vil kunne pumpe varme fra et reservoir som holder konstant 5°C i fyringsperioden.

Hvor stor er den teoretisk maksimale strømbesparelsen hun kan oppnå ved å installere varmpumpe?

- d) Vil dette anslaget endre seg dersom reservoires temperaturl *i gjennomsnitt* holder 5°C , men varierer over sesongen? Begrunn svaret.

Oppgave 3

En ubåt har sunket til bunns i Barentshavet, og ligger hjelpeløs på 110 m dyp. Båten har to opprinnelig tette rom av volum $V_0 = 40 \text{ m}^3$, som er isolert fra hverandre. I begge er temperaturen $T_0 = 18^\circ \text{ C}$, og trykket $p = 1 \text{ atm}$. Tettheten til sjøvann kan settes til 1020 kg/m^3 .

- a) Hva er trykket p_1 utenfor ubåten?
- b) En luke inn til det ene rommet bryter sammen og vannet strømmer inn. Dette skjer så raskt at luften i rommet kan antas å bli presset sammen adiabatisk, helt til trykket i den gjenværende luftlommen er lik trykket utenfor båten. Her, og i alle punktene nedenfor, antas det at ingen luft slipper ut av ubåten. Du kan neglisjere høydeforskjeller inne i ubåten, da disse vil være små i forhold til dybden 110 m.

Hva er temperaturen T_1 i luftlommen etter den adiabatiske sammenpressingen?

- c) Hvor mye arbeid utføres på luften i dette rommet under sammenpressingen?
- d) Temperaturen i den gjenværende luftlommen synker etterhvert til $T_2 = 4^\circ \text{ C}$. Hvilket volum V_2 har luftlommen etter dette?
- e) Temperaturen i det andre rommet har sunket til $T_2 = 4^\circ \text{ C}$ før en liten ventil bryter sammen slik at vannet strømmer inn. Dette skjer så langsomt at temperaturen i rommet forblir konstant lik T_2 .

Hvilken hastighet v har vannstrålen inn i dette rommet til å begynne med?

- f) Anta at vannet strømmer inn gjennom et hull av areal 1 cm^2 . Sett opp en differensial-ligning for hvordan volumet av luften i dette rommet vil endre seg med tiden.

FORMLER FOR FAG SIF4004 FYSIKK

Denne formelsamlingen (3 sider kopiert ned på et A4-ark) kan tas med på eksamen 1. august 2001. Det er tillatt å tilføye private notater på arket.

Punktlegemers og stive legemers mekanikk, kraftlover etc.

Newton's 2. lov	$\vec{F} = \frac{d}{dt}\vec{p} = \frac{d}{dt}m\vec{v}$	der \vec{F} kan være vektorsum av mange bidrag \vec{p} bevegelsesmengde. Engelsk: <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	$\vec{F} = -m_1m_2G\vec{r}/r^3$	der $G = 6.67259 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$
Friksjonskraft (s)	$F_f \leq \mu_s N$	der N er normalkraften (en føringskraft)
Friksjonskraft (k)	$F_f = \mu_k N$	μ_s statisk, μ_k kinetisk friksjonskoeffisient
Fjærkraft	$\vec{F} = -K\vec{r}$	der \vec{r} er utslaget fra likevektsposisjonen
Fra potensial	$\vec{F}(\vec{r}) = -\nabla U(\vec{r})$	for konservative krefter, $\nabla \times \vec{F}(\vec{r}) = 0$
Sentrifugalkraft	$\vec{F}_s = -m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$	også lik $m\omega^2\vec{r}_\perp$ (der $\vec{r}_\perp \cdot \vec{\omega} = 0$)
Corioliskraft	$\vec{F}_c = -2m\vec{\omega} \times \vec{v}'$	
Kraftmoment	$\vec{M} = \sum_i \vec{r}_i \times \vec{F}_i$	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, ρ 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: $I = \frac{2}{5}Mr^2$, (iii) rektangulær $a \times b$ plate: $I = \frac{1}{2}M(a^2 + b^2)$. M total masse.	
Trehetsmoment:	$I = I_C + M\ell^2$	parallellakseteoremet; ℓ avstand til massesenterakse C
Dreieimpuls	$\vec{L} = \sum_i \vec{r}_i \times m_i\vec{v}_i$	Også kalt spinn. Engelsk: <i>Angular momentum</i>
Dreieimpuls	$\vec{L} = I\vec{\omega}$	Brukes forsiktig! Om symmetriakser gjennom \vec{R}_C er OK
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 bevegelsesmengde \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	$U = -m_1m_2G/r$	G gravitasjonskonstanten
Energi i fjær	$U = \frac{1}{2}Kr^2$	

Kontinuumsmekanikk

Tetthet	$\rho(\vec{r}) = m n(\vec{r})$	n antallstetthet, m molekylmasse, ρ 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 E	$E dL = (L/A) dF$	Prøve med lengde L og tykkelse A , strekkraft F
Termisk utvidelse	$dL = \alpha_L L dT$	L lengde, T temperatur, α_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, $\alpha_V = 3\alpha_L$ kubisk utv.koeff.
Skjærmodul G	$G d\phi = (1/A) dF$	ϕ vridningsvinkel, F kraft langs flate A
Volumarbeid	$dW = p dV$	trykk p , volum V
Flatearbeid	$dW = \gamma dA$	Overflatespenning γ , areal A
Strekkarbeid	$dW = F d\ell$	Strekraft F , lengde ℓ
Bernoulli's lov	$\frac{1}{2}v^2 + \mathcal{A} + gh$	er konstant langs strømlinjer. ρ massetetthet, h høyde, $\mathcal{A} = \int_{p_0}^p \frac{dp'}{\rho(p')}$

Masse- og varmetransport

Massestrøm/areal	$\vec{j}_m = \rho \langle \vec{v} \rangle$	Massetetthet ganger midlere hastighet
Massestrøm	$I_m = \frac{\pi}{8} \frac{\rho r^4}{\eta} \frac{dp}{dx}$	Laminært i radius r rør; ρ massetetthet, η viskositet
Varmeledning	$j_Q = \lambda \frac{dT}{dx}$	λ varmeledningskoeffisient, j_Q varmemengde transportert gjennom en flate, pr. areal- og tidsenhet
Varmeovergang	$j_Q = h \Delta T$	h varmeovergangstall (overflate \rightarrow konveksjon)
Stefan-Boltzmann	$j_Q = \varepsilon \sigma T^4$	$\sigma = 5.669\,6 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$. Svart stråling: $\varepsilon = 1$

Termodynamikk, statistisk fysikk

Ideell gasslov	$pV = Nk_B T$	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 under prosessen
Termodynamisk id.	$TdS = dU + pdV$	innholder i termodynamikkens første lov
Entalpi	$H = U + pV$	nyttig for prosesser under konstant trykk
Fri energi	$F = U - TS$	Helmholts fri energi
Fri entalpi	$G = H - TS$	Gibbs fri entalpi (også kalt Gibbs fri energi)
Ekvipartisjonspri.	$C_V = \frac{1}{2} f N k_B$	Enatomig gass: $f = 3$, toatomig: $f = 5$.
Dulong-Petit	$C = 3Nk_B$	for <i>solider</i>
RMS-hastighet	$v_{\text{rms}}^2 = 3k_B T/m$	Midlere kvadratiske hastighet
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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$N_2 : A = 28, \text{ O}_2 : A = 32$$

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}	μ	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	ω	invers-sekund	s^{-1}
Vinkelakselerasjon	α	sekund ⁻²	s^{-2}
Vinkel	$\alpha, \beta, \gamma, \dots$	radian	rad
Romvinkel	Ω	steradian	sr
Lengde	ℓ	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, ν	Hertz	$\text{Hz}=\text{s}^{-1}$
Bølgelengde	λ	meter	m
Masse	m	kilogram	kg
Kraft	F	Newton	$\text{N}=\text{kgm/s}^2$
Trykk	p	Pascal	$\text{Pa}=\text{N/m}^2$
Arbeid	A, W	Joule	$\text{J}=\text{kgm}^2/\text{s}^2$
Energi	E, W	Joule	$\text{J}=\text{Ws}$
Effekt	P	Watt	$\text{W}=\text{J/s}$
Termodynamisk temperatur	T, Θ	Kelvin	K
Celsiustemperatur	T, t, Θ	grad Celcius	$^\circ\text{C}$
Varme, varmemengde	Q	Joule	$\text{J}=\text{VAs}$
Varmestrøm	I_Q	Watt	$\text{J/s}=\text{W}$
Varmestrømtetthet	j_Q	Watt pr. m^2	$\text{J/m}^2\text{s}=\text{W/m}^2$