NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE
UNIVERSITET
INSTITUTT FOR FYSIKK

Faglig kontakt under eksamen:
Navn: Kåre Olaussen
Telefon: 9 36 52

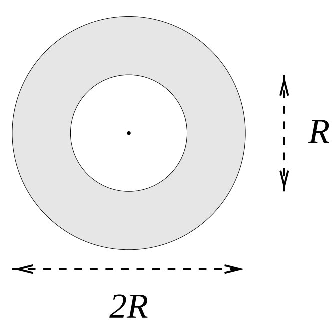
Eksamen i fag SIF4004 FYSIKK
FOR ELEKTROTEKNIKK OG TELEKOMMUNIKASJON
Onsdag 2. desember 1998
Tid: 09:00—15:00

Tillatte hjelpemidler: (Alternativ B): Godkjent lommekalkulator tillatt.
K. Rottman: Matematisk formelsamling (alle språkutgaver).
O.H. Jahren og K.J. Knudsen: Formelsamling i matematikk.

Dette eksamenssettet er på 3 sider pluss et generelt vedlegg på 1 side.

Oppgave 1:

Et rett avkuttet kopperrør har ytre diameter $2R$, indre diameter R, og lengde R. Rørets masse er 10 kg. Skissen under indikerer røret sett fra den ene enden, men sylinderaksen (normalt på papirplanet) markert.

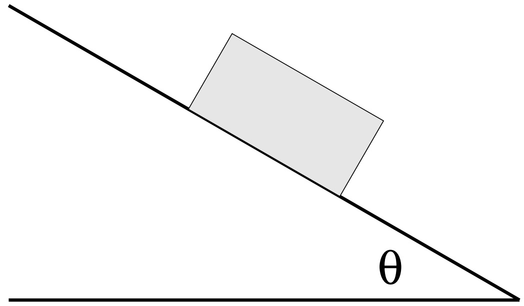


a) Beregn rørets treghetsmoment I om symmetriaksen gjennom sylinderaksen. Uttrykk først svaret symbolsk ved rørets masse m og ytre radius R.

Massetettheten til kopper er 8.96×10^3 kg/m^3. Hva blir den numeriske verdien for I?

b) Røret stilles på enden på et skråplan med helningsvinkel θ, som skissert på figuren på neste side. Den statiske friksjonskoeffisienten μ_S og glidefriksjonskoeffisienten μ_K kan antas å være like store,

$$\mu_S = \mu_K = 0.25. \tag{1}$$



Skissér hvilke krefter som virker på røret.

Hvor stor er den minste verdi, θ_1, som helningsvinkelen θ kan ha før røret begynnet å skli? Gi både symbolsk og numerisk svar.

c) Skråplanet stilles i en vinkel $\theta = 30^\circ$ (dvs. $\theta = \pi/6$).

Hvor lang tid tar det for røret å skli ned et skråplan på 20 m (målt langs skråplanet), når det starter fra ro? Hvor stor er slutthastigheten?

Oppgitt: Tyngdens akselerasjon kan settes til $g = 9.81\ \mathrm{m/s}^2$.

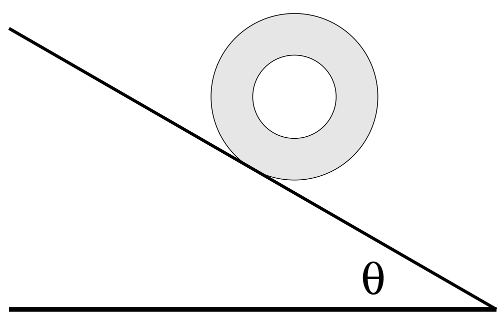
d) Hvor mye friksjonsarbeid ble utført mens røret skled ned skråplanet?

Skråplanet antas å være en svært dårlig varmeleder, slik at alt friksjonsarbeid blir brukt til å varme opp kopperrøret. Spesifikk varmekapasitet for kopper er

$$c_{\text{kopper}} = 390\ \mathrm{J/kg\,K}. \tag{2}$$

Hvor stor var temperaturøkningen i røret mens det skled ned skråplanet? Hvor stor ville den vært hvis røret istedet hadde veid 100 kg?

e) Røret legges nå horisontalt på skråplanet, der det antas å rulle uten å skli.



Hva er rørets spinn (dreieimpuls, angular momentum) L om sylinderaksen når massesenteret har hastigheten v?

Hva er rørets rotasjonsenergi K_r og dets totale kinetiske energi K i samme situasjon?

f) Bruk energibevaring til å sette opp en sammenheng mellom rørets (massesenter) hastighet v og den avstanden s det har rullet nedover skråplanet (fra ro). Gi her, og i det følgende, svaret symbolsk for en generell verdi av helningsvinkelen θ.

Finn, ved å tidsderivere denne sammenhengen (eller på annen måte), akselerasjonen til røret.

g) Når helningsvinkelen på skråplanet overstiger en verdi θ_2 vil røret skli raskere enn det ruller ned skråplanet. Bestem denne vinkelen.

h) Rørets spinn L om sylinderaksen vil øke med tiden, fordi hastigheten øker. Bestem det kraftmomentet M om sylinderaksen som må til for denne økningen.

Tyngdekraften gir ikke opphav til noe netto kraftmoment om sylinderaksen, så hele bidraget skyldes friksjonskraften fra underlaget (som har retning langs skråplanet). Bestem størrelsen på denne kraften.

i) Når helningsvinkelen på skråplanet overstiger en verdi θ_3 vil ikke røret lenger kunne rulle uten å skli. Bestem denne vinkelen. Du kan forsatt anta at $\mu_S = \mu_K = 0.25$.

Oppgave 2:

På grunn av radioaktive prosesser i jordas indre skjer der en energiproduksjon på ca. 30 TW. Denne energien ledes ut til jordas overflate i form av varme. Jorda kan regnes å være kulesymmetrisk, med omkrets 40 000 km.

a) Varmeledningsevnen til jordskorpa kan settes til $\lambda = 3$ W/m K.

Anslå temperaturgradienten dT/dh i jordskorpa (nær overflaten).

b) Energien over vil tilslutt forsvinne ut i verdensrommet i form av infrarød stråling. Anta at jorda var så langt borte fra sola at vi kunne se bort fra all innstråling derfra.

Hva ville overflatetemperaturen på jorda blitt dersom (i) den i strålingsforstand kunne betraktes som et sort legeme, eller (ii) som et legeme med emisjonskoeffisient $\varepsilon = 0.1$?

Oppgitt: Stefan-Boltzmanns konstant $\sigma = 5.670\,51^{-8}$W m^{-2}K^{-4}.

c) Nå er jorda heldigvis bare i avstand 150 millioner km fra sola, og på en god sommerdag kan vi i Trondheim ha en innstråling av solenergi på opptil 1 kW/m^2. Anta at vi har en meget effektiv solfanger, der all denne energien brukes til å varme opp vann fra 20 °C til 80 °C. Vann har spesifikk varmekapasitet $c_{\text{vann}} = 4180$ J/kg K. Massetettheten til vann er 1 000 kg/m^3.

Hvor stort volum vann kan vi varme opp pr. kvadratmeter og sekund i solfangeren?

d) Oppvarmingen skjer ved at et tynt skikt (tykkelse $d = 1$ mm) med vann strømmer langsomt ($v = 0.2$ m/s) gjennom solfangeren. Hvor *lang* må solfangeren være for at vi skal få den ønskede oppvarmingen?

Oppgave 3:

Du kommer tilbake fra juleferie til en iskald hybel, $T = 0$ °C. Anta at hybelen har et volum på 40 m^3, og at lufta kan regnes som en ideell toatomig gass, med trykk $p = 1$ atm når $T = 0$ °C.

a) Hvor mye energi trengs det for å varme opp lufta til 20 °C, dersom hybelen kan regnes som potte tett (slik at oppvarmingen kan regnes å skje under konstant volum)? Hvor mye øker trykket med?

Oppgitt: 1 atm = 101 325 N/m^2. 0 °C = 273 K.

b) Det er mer realistisk å anta oppvarmingen skjer under konstant trykk. Gi et estimat på hvor mye energi som kreves til oppvarmingen i den situasjonen.

Vedlegg 1:

Newtons 2. lov: $\vec{F} = \frac{d}{dt}\vec{p} = \frac{d}{dt}m\vec{v}$, der $\vec{F}$ kan være en vektorsum av mange enkeltbidrag.
Newtons 3. lov: $\vec{F}_{A\to B} = -\vec{F}_{B\to A}$ (virkning er lik motvirkning).
Kraftmoment (moment of force): $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$, eller mer generelt en sum av slike bidrag.
Spinn (angular momentum): $\vec{L} = \vec{r} \times m\vec{v}$.
Bevegelsesligning for spinn: $\vec{M} = \frac{d}{dt}\vec{L} = \frac{d}{dt}I\vec{\omega}$, med $\vec{\omega}$ vinkelhastigheten.
Treghetsmoment: $I = \int d^3x\, \rho(\vec{x})\, r^2$, med r avstanden til aksen det regnes med hensyn på.
Betingelse for mekanisk likevekt: $\vec{F} = 0$, $\vec{M} = 0$.
Tyngdekraft nær jordas overflate: $\vec{F} = m\vec{g}$, der $g \approx 9.81$ m/s^2 er tyngdens akselerasjon.
Friksjonskraft: $\vec{F}_f = \mu\vec{N}$, der $\vec{N}$ er normalkraften.
Newton's gravitasjonslov: $\vec{F} = -m_1 m_2 G\vec{r}/r^3$, der $G = 6.672\,59 \times 10^{-11}$ m^{3}kg^{-1}s^{-2} er gravitasjonskonstanten.
Fjærkraft: $F = -Kx$.
Sentrifugalkraft: $\vec{F}_s = -m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$. Corioliskraft: $\vec{F}_c = -2m\vec{\omega} \times \vec{v}'$.

Kinetisk energi: $K_t = \frac{1}{2}m\vec{v}^2$, $K_r = \frac{1}{2}I\vec{\omega}^2$.
Potensiell energi i jorden tyngdefelt: $U = -m\vec{g} \cdot \vec{r}$.
Gravitasjonsenergi: $U = -m_1 m_2 G/r$.
Energi i fjær: $U = \frac{1}{2}Kx^2$.

Ideell gasslov: $pV = NkT$, der $k = 1.380\,658 \times 10^{-23}$ J/K er Boltzmanns konstant.
Den termodynamiske identitet: $dQ = TdS = dU + pdV$.
Entalpi: $H = U + pV$. Helmholtz fri energi: $F = U - TS$. Gibbs fri energi: $G = U + pV - TS$.
Stefan–Boltzmanns lov: $j_Q = \varepsilon\sigma T^4$, der $\sigma = 5.669\,6 \times 10^{-8}$ Wm^{-2}K^{-4}.
Varmeledning: $j_Q = \lambda\frac{dT}{dx}$.