

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 MTEL, MTTK og MTNANO  
18. desember 2009 kl. 0900 - 1300  
Bokmål

Hjelpemiddel C

- K. Rottmann: Matematisk formelsamling (alle språkutgaver)
- Godkjent kalkulator, med tomt minne

Side 2-3: 3 oppgaver med tilsammen 14 punkt.  
Vedlegg: 2 sider formler.

I dette oppgavesettet spørres det etter et tallsvar bare i oppgave 3e. For alle de øvrige spørsmålene har svarene form av bokstavuttrykk eller korte kommentarer/diskusjoner. Alle enkeltpunktene teller i utgangspunktet likt.

Svar først på de spørsmålene som er de letteste for **deg!** Mange av punktene kan besvares, helt eller delvis, uten at du kjenner svaret på de foregående punktene.

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

Sensuren faller innen 18. januar.

## Oppgave 1. Fire spørsmål

**1a.** En huseier lenser det skrå taket for snø, mister fotfeste og holder på å skli utfor. Han redder seg ved å kyle snøskuffen av all kraft i bevegelsesretningen utfor taket, og derved får han klort seg fast. Forklar kort fysikken han snarrådig har gjort bruk av.

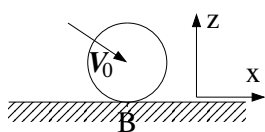
**1b.** Det er senhøstes, og en kald og klar morgen skal sivilingeniøren på jobb. Bilen (hun er nødt til å bruke bil, dessverre) er parkert utendørs. Hun konstaterer at biltaket (bl.a.) er dekket med et tynt islag, men at asfalten er helt bar. Velutdannet som hun er, har hun ingen problemer med å forklare fysikken bak denne forskjellen. Hva er forklaringen?

**1c.** En slipestein med radius  $R$  og masse  $M$  dras i gang av en motor som leverer det konstante dreiemomentet  $\tau$  (dimensjon: Nm). Hvilken vinkelhastighet har slipesteinen kommet opp i etter én full omdreining?

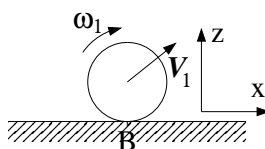
**1d.** Skisser et standard fasediagram i  $(p, T)$ -planet for fasene gass, væske og fast stoff. Hva karakteriserer henholdsvis trippelpunktet og det kritiske punkt?

## Oppgave 2. Klassisk mekanikk

Før



Etter



En kule med masse  $m$  og radius  $r$  faller skrått ned på et horisontalt bord. Kula støter mot bordet og spretter videre. Umiddelbart før støtet mot bordet har kula vinkelhastighet  $\omega_0 = 0$  (kula roterer ikke) og tyngdepunktshastighet  $\mathbf{V}_0 = V_{0x}\hat{\mathbf{x}} - |V_{0z}|\hat{\mathbf{z}}$ . Vertikalkomponenten av støtet er fullstendig elastisk, men horisontalt er friksjonen mellom kuleoverflate og bord tilstrekkelig til å bremse relativhastigheten mellom kuleoverflate og bord (*i berøringspunktet*, B) ned til null i løpet av (det meget kortvarige!) støtet. Kula kommer derfor ut av støtet i det som tilsvarende "rullemodus".

**2a.** Hva er tyngdepunktets vertikalhastighet  $V_{1z}$  umiddelbart *etter* støtet?

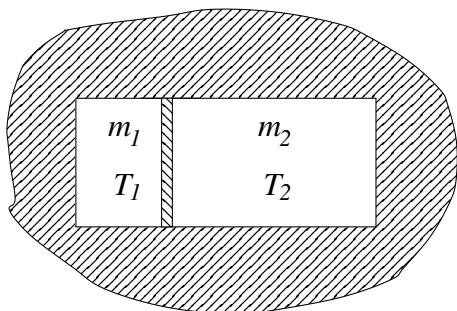
**2b.** Forklar hvorfor kulas totale dreieimpuls relativt berøringspunktet B er bevart i støtet.

**2c.** Bruk dreieimpulsbevarelsen til å bestemme horisontalkomponenten  $V_{1x}$  og vinkelfrekvensen  $\omega_1$  til kula etter støtet.

**2d.** Beregn det mekaniske energitapet  $\Delta E$  i støtet.

**2e.** Vi ser (fortsatt) bort fra luftmotstanden. Etter første støt vil da kulas tyngdepunkt bevege seg i en parabelbane for så å støte mot bordet for annen gang. Hva er energitapet i dette støt nr. to?

### Oppgave 3. Termisk fysikk



To kopperklosser, med masser  $m_1$  og  $m_2$ , befinner seg på hver sin side av en flat skillevegg inne i en isoporkasse, se figuren. Skilleveggen har areal  $A$  og tykkelse  $b$ . Klossen til venstre har temperaturen  $T_1$  og klossen til høyre  $T_2$  ( $T_2 > T_1$ ). Systemet som helhet er termisk fullstendig isolert, men de to klossene kan utveksle varme ved varmeledning gjennom skilleveggen. Temperaturforskjellen  $\Delta T = T_2 - T_1$  vil derfor langsomt utjevnes. Utjevningsprosessen er tilstrekkelig langsom til at vi kan anta at klossene hver for seg er i intern termisk likevekt under prosessen. Skilleveggen er tynn nok til at vi kan neglisjere dens varmekapasitet.

**3a.** Skriv ned et uttrykk for den totale varmestrømmen  $J$  fra høyre mot venstre side, når veggens varmeledningsevne er  $\kappa$ .

**3b.** Varmestrømmen fra høyre mot venstre side gir en entropistrøm ut av klossen på høyre side,  $dS_2/dt$ , og inn i klossen på venstre side,  $dS_1/dt$ . Uttrykk disse størrelsene ved  $J$ ,  $T_2$  og  $T_1$ .

**3c.** Vis at den totale entropiendringen pr. sekund,  $dS/dt = d(S_1 + S_2)/dt$ , kan skrives på formen  $dS/dt = K(T_2 - T_1)^2/(T_1 T_2)$ . Kommenter fortegnet til  $dS/dt$  og bestem den positive konstanten  $K$  uttrykt ved  $A$ ,  $b$  og  $\kappa$ .

**3d.** Den generelle relasjonen  $J = dQ/dt = (dQ/dT)(dT/dt)$  gir i vårt tilfelle

$$J = m_1 c \frac{dT_1}{dt} = -m_2 c \frac{dT_2}{dt},$$

der  $c$  er kopperets varmekapasitet pr. masseenheter. Bruk dette og relasjonen i pkt.3a til å vise at temperaturutjevningens tidsforløp er gitt av differensialligningen

$$\frac{d\Delta T}{dt} = -\frac{1}{\tau} \Delta T(t) \quad ; \quad \Delta T(t) = T_2(t) - T_1(t).$$

Hva er løsningen av denne ligningen? Bestem tidskonstanten  $\tau$  uttrykt ved  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $A$ ,  $b$ ,  $\kappa$  og  $c$ .

**3e.** Bestem  $\tau$  når  $m_1 = 1$  kg,  $m_2 = 3$  kg,  $\kappa = 0.14$  W/(m · K) (typisk verdi for gran),  $A = (5 \text{ cm})^2$ ,  $b = 1$  cm,  $c = 0.39$  kJ/(kg · K).