NTNU
Kunnskap for en bedre verden

Institutt for fysikk

Eksamensoppgave i
TFY4115 FYSIKK
for MTNANO, MTTK og MTEL

Faglig kontakt under eksamen: Institutt for fysikk v/Arne Mikkelsen
Tlf.: 486 05 392

Eksamensdato: Onsdag 12. aug. 2015
Eksamenstid: 09:00 - 13:00
Tillatte hjelpemidler (kode C):
Bestemt enkel godkjent kalkulator.
Rottmann: Matematisk formelsamling (norsk eller tysk utgave).
Vedlagt formelark.

Annen informasjon:

1. Prosenttallene i parentes etter hver oppgave angir hvor mye den i utgangspunktet vektlegges ved bedømmelsen.

2. Noen generelle faglige merknader:
   - Symboler er angitt i kursiv (f.eks. m for masse), mens enheter angis uten kursiv (f.eks. m for meter)
   - $\hat{\mathbf{x}}$, $\hat{\mathbf{y}}$ og $\hat{\mathbf{z}}$ er enhetsvektorer i henholdsvis x-, y- og z-retning.
   - Ved tallsvar kreves både tall og enhet.

3. I flervalgsspørsmålene er kun ett av svarene rett. Du skal altså svare A, B, C, D eller E (stor bokstav) eller du kan svare blankt. **Rett svar gir 5 poeng, galt svar eller flere svar gir 0 poeng, blank (ubesvart) gir 1 poeng.**

4. Svar på flervalgsspørsmålene fører du på **siste ark** i dette oppgavesettet. Arket skal innleveres.

5. Oppgavene er utarbeidet av Arne Mikkelsen og vurdert av Jon Andreas Støvneng.

Målform/språk: Bokmål.

Antall sider (inkludert denne forsida): 8.

Antall sider vedlegg: 3.

Kontrollert av:

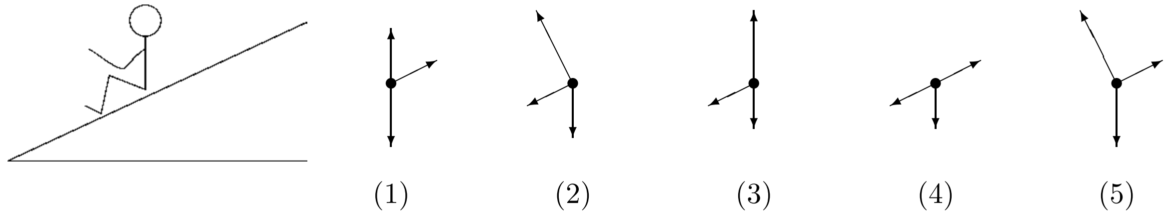
Dato Sign

Merk! Studenter finner sensur i Studentweb. Har du spørsmål om din sensur må du kontakte instituttet ditt. Eksamenskontoret vil ikke kunne svare på slike spørsmål.

<u>Oppgave 1.</u> Flervalgsspørsmål (teller 35 %)

<u>1-1.</u> Kraftdiagrammet som best representerer kreftene som virker på en student som er i ro på skråplanet er

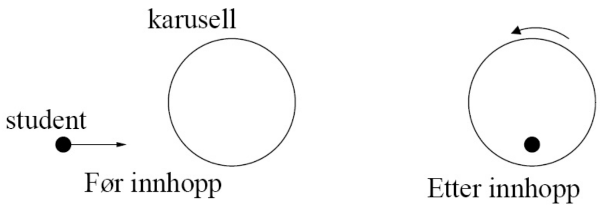
A) 1
B) 2
C) 3
D) 4
E) 5



<u>1-2.</u> Et legeme som beveger seg med konstant banefart i en sirkel
A) Har ingen akselerasjon
B) Har ingen endring i hastighet
C) Har ingen resultantkraft som virker på seg
D) Har ingen arbeid gjort på seg
E) Er beskrevet ved alle utsagn ovenfor.

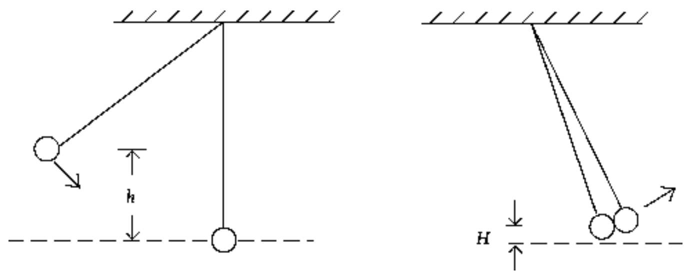
<u>1-3.</u> En student tar fart og hopper på en karusell som dermed begynner å rotere (tilnærmet friksjonsfritt) omkring en aksling som står fast i bakken, og som passerer gjennom karusellens sentrum. For systemet karusell + student, hvilke(n) størrelse(r) endrer seg *ikke* fra før til etter studentens innhopp på karusellen? (Her er E systemets energi, p systemets bevegelsesmengde og L systemets spinn mhp. en akse gjennom karusellens sentrum.)

A) Bare L
B) L og E
C) L og p
D) L, E og p
E) Bare p

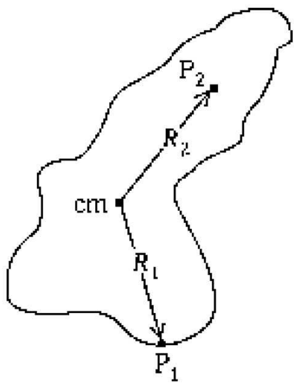


<u>1-4.</u> To like kuler henger i hver si snor med lik lengde. Éi kule blir sluppet fra en høyde h over bunnpunktet og treffer den andre kula på laveste punkt i banen. Under kollisjonen (støtet) festes de to kulene til hverandre og beveger seg videre sammen. Hvilke(n) størrelse(r) er konstant under støtet? (Her er E total kinetisk energi, p total bevegelsesmengde og L totalt spinn om snorenes festepunkt i taket.)

A) E, p og L
B) E og p
C) p og L
D) E og L
E) Bare p

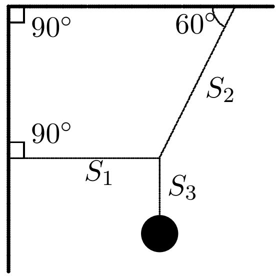


1-5. For legemet vist i figuren er $R_1 = R_2$ og "cm" er massesenteret (tyngdepunktet) til legemet. Treghetsmomentet om en akse gjennom punktet P1 er I_1, treghetsmomentet om en akse gjennom punktet P2 er I_2 og treghetsmomentet om en akse gjennom cm er $I_{\rm cm}$. Alle aksene er parallelle og går normalt på papirplanet. Relasjonen mellom de ulike treghetsmoment er



A) $I_1 = I_2 > I_{\rm cm}$
B) $I_1 = I_2 < I_{\rm cm}$
C) $I_1 > I_2 > I_{\rm cm}$
D) $I_1 < I_2 > I_{\rm cm}$
E) $I_1 = I_2 = I_{\rm cm}$

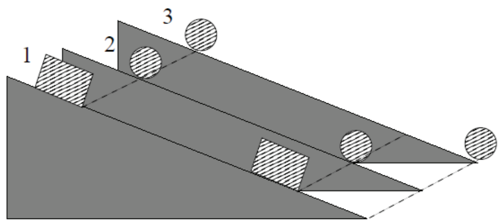
1-6. Ei tung kule er hengt opp med tre tau som vist. Snorkrafta i hvert tau er angitt med S_i. Hvilken av de følgende påstander er rett?



A) $S_1 > S_2 > S_3$
B) $S_2 > S_1 > S_3$
C) $S_2 > S_3 > S_1$
D) $S_3 > S_1 > S_2$
E) $S_1 > S_3$ og $S_2 > S_3$

1-7. Figuren illustrerer en kloss (legeme 1) og to sylindersymmetriske legemer (2 og 3) på identiske skråplan. De tre legemene har lik masse. Klossen glir på skråplanet, de to sylindrene ruller uten å gli eller slure. Vi ser bort fra rullemotstand, dvs. ingen energitap pga. rulling. De tre slippes samtidig fra samme høyde på skråplanet, med null starthastighet. Litt senere har den ene sylinderen (3) nådd bunnen av skråplanet. Klossen og den andre sylinderen har nå kommet like langt men har fortsatt et stykke igjen til bunnen. Ranger friksjonskreftene f_1, f_2 og f_3 som virker fra skråplanet på henholdsvis legeme 1, 2 og 3.

A) $f_1 = f_2 > f_3$
B) $f_2 < f_1 < f_3$
C) $f_1 > f_2 > f_3$
D) $f_1 = f_2 < f_3$
E) $f_1 > f_2 = f_3$



1-8. En ideell gass befinner seg i en tilstand a med volum V_1. Når volumet økes fra V_1 til V_2 i en **isoterm** prosess, gjør gassen et arbeid W_T. Hvis vi for den samme gassen i tilstand a øker volumet fra V_1 til V_2 i en **adiabatisk** prosess, gjør gassen et arbeid $W_{\rm ad}$. Hvilken påstand er rett?

A) $W_{\rm ad} = W_T$
B) $W_{\rm ad} < W_T$
C) $W_{\rm ad} > W_T$
D) A, B eller C er rett avhengig av forholdet V_2/V_1
E) A, B eller C er rett avhengig av gassens temperatur.

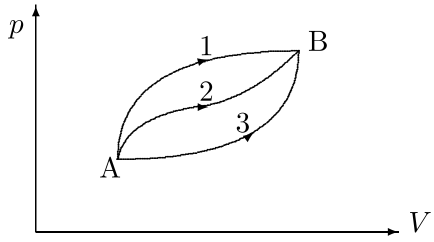
1-9. To enatomige gasser, helium og neon, blir blanda i forholdet 2:1 og er i termisk likevekt ved temperaturen T. Molar masse til neon er 5x molar masse til helium. Hvis den midlere kinetiske energien per heliumatom er U, er den midlere kinetiske energien per neonatom lik

A) U
B) $U/2$
C) $2U$
D) $5U$
E) $U/5$

1-10 Hvis trykket i en ideell gass fordobles samtidig som gassen presses sammen til halvparten så stort volum, hvordan endres v_{rms}? ($v_{\mathrm{rms}} = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$)

A) v_{rms} reduseres til 1/2 (halveres).
B) v_{rms} blir uendret.
C) v_{rms} reduseres med ca. 30 prosent.
D) v_{rms} blir ca. dobbelt så stor.
E) v_{rms} reduseres til 1/4.

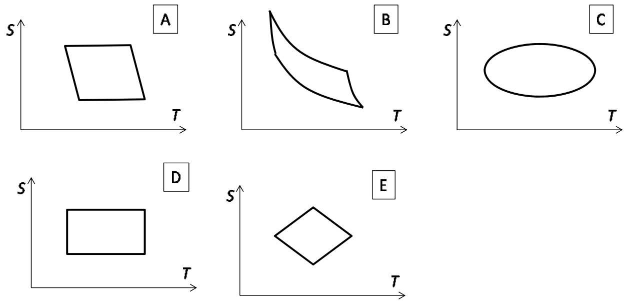
1-11. Et termodynamisk system kan bli ført fra tilstand A til tilstand B langs de tre mulige prosesser vist i pV-diagrammet. Hvis tilstand B har høyere indre energi U enn tilstand A, hvilken av prosessvegene i figuren har den største absoluttverdi $|Q|$ for varmen som utveksles under prosessen?



A) prosess 1
B) prosess 2
C) prosess 3
D) lik for alle prosesser
E) det er ikke nok informasjon til å gi svar.

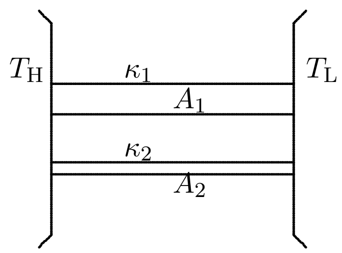
1-12. Hvordan ser en Carnotprosess ut i et (S, T)-diagram?

Tips: Husk at adiabatisk er det samme som isentropisk.

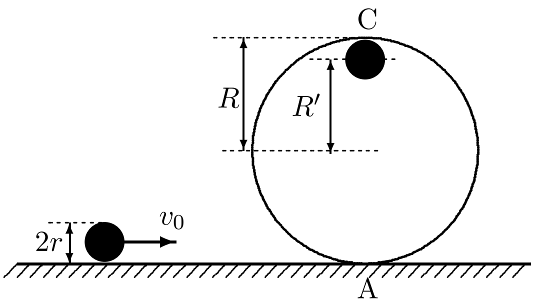


1-13. Figuren viser to varmereservoar som er forbundet med to metallsylindre med samme lengde ℓ men ulikt tverrsnitt A_i og varmeledningsevne κ_i. Reservoarenes temperaturer er T_{H} og T_{L}. Varmeresistansen for hvert materiale er definert $R_i = \dfrac{l_i}{A_i \kappa_i}$. Hva er den ekvivalente (totale) varmeresistansen R mellom varmereservoarene?

A) $R_1 + R_2$
B) $\frac{R_1+R_2}{2}$
C) $\frac{R_1 R_2}{R_1+R_2}$
D) $\frac{A_1 R_1 + A_2 R_2}{A_1+A_2}$
E) $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$



Oppgave 2. Rulling i loop (teller 16%)



Ei massiv kule med radius $r = 4,00$ cm og masse $m = 150$ g ruller med hastighet $v_0 = 3,00$ m/s på et horisontalt underlag inn mot en "loop" med radius $R = 24,0$ cm. Det er under rullingen ingen energitap pga. kinetisk friksjon ("tapsfri" rulling).

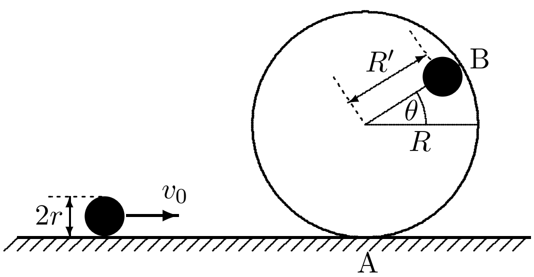
Figuren viser kula i to posisjoner, ved starten med fart v_0, og i toppunktet C.

OBS: Kulas utstrekning kan ikke neglisjeres, innfør derfor den effektive loopradiusen $R' = R - r$.

Under hele bevegelsen ruller kula, dvs. det er tilstrekkelig statisk friksjon til rein rulling. Den kinetiske energien for ei rullende kule er sammensatt av translasjonsenergi og rotasjonsenergi og den totale kinetiske energien er $E_\mathrm{k} = \frac{7}{10}mv^2$ når kulas translasjonsfart er v.

a. Anta at kula har tilstrekkelig utgangsfart til at kula når toppunktet C uten å miste kontakten med underlaget. Benytt at kulas mekaniske energi i tyngdefeltet er konstant til å bestemme (numerisk) verdi for hastigheten v_C i denne posisjonen under de gitte forutsetninger.

b. Vis så at farten i C er stor nok til at kontakten med underlaget opprettholdes i posisjon C.

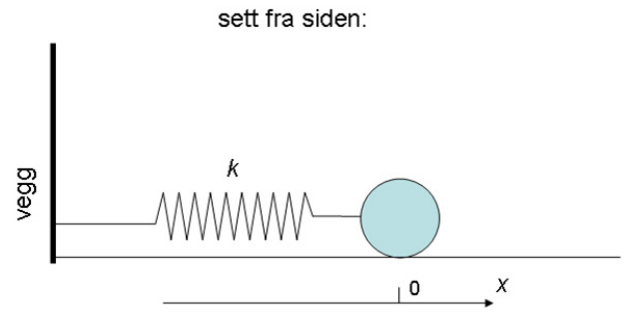


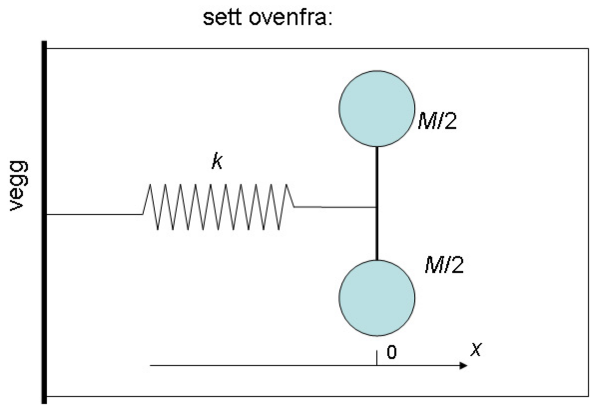
c. Ved neste forsøk reduseres utgangshastigheten til $v_0 = 2,50$ m/s. Kula vil nå miste kontakten med underlaget i en posisjon B før den når toppunktet. Figuren viser denne posisjonen definert med vinkel θ med horisontalen. Finn denne vinkelen θ.

Kula har rein rulling helt fram til posisjon B.

Oppgave 3. Svingning og friksjon (teller 16 %)

Ei fjær med fjærkonstant $k = 200$ N/m er i ene enden festa til en vegg og andre enden festa midt på en aksling med to like kuler i hver ende av akslingen. Kulene er massive med samla masse $M = 1,00$ kg mens akslingen og fjæra kan regnes masseløse. Hver kule har radius $R = 5,0$ cm. Systemet med kulene og akslingen kan bevege seg på underlaget og det strammes opp til $x = x_0 = 0,100$ m og slippes slik at det svinger fram og tilbake om $x = 0$. Svingingen skjer uten å slenge til sidene eller å rotere om noen vertikal akse, dvs. bevegelse bare i x-retning. Når akslingen roterer skjer dette fritt uten hindring av fjærfestet.





a. Anta først at kulene glir friksjonsfritt på underlaget. På grunnlag av Newtons 2. lov finn systemets bevegelseslikning, gjenkjenn denne som en udempet harmonisk svinging og finn herfra svingetida T_0 i sekunder.

Vi antar nå (i motsetning til pkt a.) at det er tilstrekkelig friksjon mellom kulene og underlaget til at kulene med aksling under bevegelsen ruller uten å skli. I det følgende betrakter vi kun systemet i høyre ytterstilling (maksimalt utsving til høyre, $x = x_0$). I denne ytterstillingen oppgis det at friksjonskrafta må ha størrelse $F_f = \frac{2}{5}Ma$. Retning på friksjonskrafta og akselerasjonen må du avgjøre sjølv.

b. Tegn opp systemet sett fra siden i høyre ytterstilling og tegn her inn fjærkraft F og friksjonskraft F_f på kulene, med angrepspunkt, retning og omtrent riktige størrelser relativt hverandre.

c. Finn akselerasjonen i ytterstillingen, retning og numerisk verdi.

d. Hvor stor må friksjonskoeffisienten μ_s mellom kuler og underlag minst være dersom betingelsen om rein rulling skal være oppfylt i ytterstillingen?

Oppgave 4. Termodynamikk (teller 33%)

En syklisk, reversibel, prosess på en ideell, enatomig gass foregår mellom 3 tilstander A,B,C:
AB: en isokor oppvarming
fra $V_{\mathrm{A}} = 4,00\,\mathrm{dm}^3$, $T_{\mathrm{A}} = 300$ K, $p_{\mathrm{A}} = 1,000\,\mathrm{atm} = 1,013 \cdot 10^5\,\mathrm{N/m}^2$.
til $V_{\mathrm{B}} = V_{\mathrm{A}}$, $T_{\mathrm{B}} = 450$ K, $p_{\mathrm{B}} = 1,50$ atm,
BC: en ekspansjon
fra V_{B}, T_{B}, p_{B}
til $V_{\mathrm{C}}, T_{\mathrm{C}}, p_{\mathrm{C}}$ der $pV^{5/2}$=konstant under prosessen,
CA: en adiabatisk kompresjon tilbake til utgangstilstanden.

Adiabatkonstanten for en ideell, enatomig gass har verdi $\gamma = 5/3$.

a. Bestem antall mol gass, n.

b. Tegn prosessene inn i et pV-diagram. Skisser også isotermer for temperaturene T_{A}, T_{B} og T_{C}. Numerisk skalering av aksene er ikke nødvendig.

c. Finn endringen i entropi ΔS for prosessene AB og CA. Hva er entropiendringen for en fullført syklus ABCA?

d. Finn V_{C}, p_{C} og T_{C} (i fritt valgt rekkefølge).

e. Beregn arbeidet W_{BC} utført i prosessen BC.

f. Sett opp uttrykk for virkningsgraden η for den sykliske prosessen ABCA og finn den numeriske verdien når det er oppgitt at $W_{\mathrm{CA}} = -168,4$ J.
Dersom du mangler tallsvar fra **e.** kan du i beregningen bruke $W_{\mathrm{BC}} = 216,0$ J (som ikke nødvendigvis er fasitsvar i **e.**).

(Blank side)

FORMELLISTE.

Formlenes gyldighetsområde og de ulike symbolenes betydning antas å være kjent. Symbolbruk som i forelesningene.

Fysiske konstanter:

$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}\,\mathrm{mol}^{-1}$ $\quad$ $\mathrm{u} = \frac{1}{12}\,m(^{12}\mathrm{C}) = \frac{10^{-3}\,\mathrm{kg/mol}}{N_A} = 1,66 \cdot 10^{-27}\mathrm{kg}$

$k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}\,\mathrm{J/K}$ $\quad$ $R = N_A k_B = 8,31\,\mathrm{J\,mol^{-1}K^{-1}}$ $\quad$ $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}\,\mathrm{Wm^{-2}K^{-4}}$

$c = 2,9979 \cdot 10^8\,\mathrm{m/s}$ $\quad$ $h = 6,63 \cdot 10^{-34}\,\mathrm{Js}$ $\quad$ $0°\mathrm{C} = 273\,\mathrm{K}$ $\quad$ $g = 9,81\,\mathrm{m/s^2}$

SI-enheter:

Fundamentale SI-enheter: meter (m) sekund (s) kilogram (kg) ampere (A) kelvin (K) mol

Noen avledete SI-enheter : newton (N) pascal (Pa) joule (J) watt (W) hertz (Hz)

Varianter: kWh = 3,6 MJ m/s = 3,6 km/h atm = $1{,}013 \cdot 10^5$ Pa 1 cal = 4,19 J

Klassisk mekanikk:

$\frac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t} = \vec{F}(\vec{r}, t)$ $\quad$ der $\vec{p}(\vec{r}, t) = m\vec{v} = m\dot{\vec{r}}$ $\quad$ $\vec{F} = m\vec{a}$

Konstant $\vec{a}$: $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$ $\quad$ $\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2}\vec{a}t^2$ $\quad$ $v^2 - v_0^2 = 2\vec{a} \cdot (\vec{r} - \vec{r}_0)$

Konstant $\vec{\alpha}$: $\omega = \omega_0 + \alpha t$ $\quad$ $\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$ $\quad$ $\omega^2 - \omega_0^2 = 2\alpha\,(\theta - \theta_0)$

Arbeid: $\mathrm{d}W = \vec{F} \cdot \mathrm{d}\vec{s}$ $\quad$ $W_{12} = \int_1^2 \vec{F} \cdot \mathrm{d}\vec{s}$ $\quad$ Kinetisk energi: $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

$E_p(\vec{r})$ = potensiell energi (tyngde: mgh, fjær: $\frac{1}{2}kx^2$) $\quad$ $E = \frac{1}{2}mv^2 + E_p(\vec{r})$ + friksjonsarbeide = konstant

Konservativ kraft: $\vec{F} = -\vec{\nabla}E_p(\vec{r})$ $\quad$ f.eks. $F_x = -\frac{\partial}{\partial x}E_p(x, y, z)$ $\quad$ Hookes lov (fjær): $F_x = -kx$

Tørr friksjon: $|F_f| \leq \mu_s\,F_\perp$ eller $|F_f| = \mu_k\,F_\perp$ $\quad$ Våt friksjon: $\vec{F}_f = -k_f\vec{v}$ eller $\vec{F}_f = -bv^2\hat{v}$

Kraftmoment (dreiemoment) om origo: $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$, $\quad$ Arbeid: $\mathrm{d}W = \tau \mathrm{d}\theta$

Betingelser for statisk likevekt: $\Sigma\vec{F}_i = \vec{0}$ $\quad$ $\Sigma\vec{\tau}_i = \vec{0}$, uansett valg av referansepunkt for $\vec{\tau}_i$

Massemiddelpunkt (tyngdepunkt): $\vec{R} = \frac{1}{M}\sum m_i\vec{r}_i \to \frac{1}{M}\int \vec{r}\,\mathrm{d}m$ $\quad$ $M = \sum m_i$

Kraftimpuls: $\int_{\Delta t} \vec{F}(t)\mathrm{d}t = m\Delta\vec{v}$ $\quad$ Alle støt: $\sum \vec{p}_i$ = konstant $\quad$ Elastisk støt: $\sum E_i$ = konstant

Vinkelhastighet: $\vec{\omega} = \omega\,\hat{\mathbf{z}}$ $\quad$ $|\,\vec{\omega}\,| = \omega = \dot{\phi}$ $\quad$ Vinkelakselerasjon: $\vec{\alpha} = \mathrm{d}\vec{\omega}/\mathrm{d}t$ $\quad$ $\alpha = \mathrm{d}\omega/\mathrm{d}t = \ddot{\phi}$

Sirkelbev.: $v = r\omega$ $\quad$ Sentripetalaks.: $\vec{a} = -v\omega\,\hat{\mathbf{r}} = -\frac{v^2}{r}\,\hat{\mathbf{r}} = -r\omega^2\,\hat{\mathbf{r}}$ $\quad$ Baneaks.: $a_\theta = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = r\,\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} = r\,\alpha$

Spinn (dreieimpuls) og spinnsatsen: $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$ $\quad$ $\vec{\tau} = \frac{\mathrm{d}\vec{L}}{\mathrm{d}t}$, $\quad$ stive legemer: $\vec{L} = I\,\vec{\omega}$ $\quad$ $\vec{\tau} = I\,\frac{\mathrm{d}\vec{\omega}}{\mathrm{d}t}$

Spinn for rullende legeme: $\vec{L} = \vec{R}_{\mathrm{cm}} \times M\vec{V} + I_0\vec{\omega}$, $\quad$ Rotasjonsenergi: $E_{k,\mathrm{rot}} = \frac{1}{2}\,I\,\omega^2$,
der treghetsmoment $I \stackrel{\mathrm{def}}{=} \sum m_i r_i^2 \to \int r^2 \mathrm{d}m$ $\quad$ med r = avstanden fra m_i ($\mathrm{d}m$) til rotasjonsaksen.

Med aksen gjennom massemiddelpunktet: $I \to I_0$, og da gjelder:
kule: $I_0 = \frac{2}{5}\,MR^2$ $\quad$ kuleskall: $I_0 = \frac{2}{3}\,MR^2$ $\quad$ sylinder/skive: $I_0 = \frac{1}{2}MR^2$ $\quad$ åpen sylinder/ring: $I_0 = MR^2$
lang, tynn stav: $I_0 = \frac{1}{12}\,M\ell^2$ $\quad$ Parallellakseteoremet (Steiners sats): $I = I_0 + Mb^2$

Udempet svingning: $\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$ $\quad T = \dfrac{2\pi}{\omega_0}$ $\quad f_0 = \dfrac{1}{T} = \dfrac{\omega_0}{2\pi}$ $\quad$ Masse/fjær: $\omega_0 = \sqrt{\dfrac{k}{m}}$

Tyngdependel: $\ddot{\theta} + \omega_0^2 \sin\theta = 0$, $\quad$ der $\sin\theta \approx \theta$ $\quad$ Fysisk: $\omega_0 = \sqrt{\dfrac{mgd}{I}}$ $\quad$ Matematisk: $\omega_0 = \sqrt{\dfrac{g}{\ell}}$

Dempet svingning: $\ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$ $\quad$ Masse/fjær: $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ $\quad \gamma = b/(2m)$

$\gamma < \omega_0$ Underkritisk dempet: $x(t) = A\,\mathrm{e}^{-\gamma t}\cos(\omega_\mathrm{d} t + \phi)$ $\quad$ med $\omega_\mathrm{d} = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}$

$\gamma > \omega_0$ Overkritisk dempet: $x(t) = A^+\mathrm{e}^{-\alpha^{(+)}t} + A^-\mathrm{e}^{-\alpha^{(-)}t}$ $\quad$ med $\alpha^{(\pm)} = \gamma \pm \sqrt{\gamma^2 - \omega_0^2}$

Tvungne svingninger: $\ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + \omega_0^2 x = f_0 \cos\omega t$, $\quad$ med (partikulær)løsning når $t \gg \gamma^{-1}$:

$x(t) = x_0\cos(\omega t - \delta)$, $\quad$ der $\quad x_0(\omega) = \dfrac{f_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\gamma^2\omega^2}}$ $\quad \tan\delta = \dfrac{2\gamma\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$

"Rakettlikningen": $m(t)\,\dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t} = \vec{F}_\mathrm{Y} + \beta\vec{u}_\mathrm{ex}$ $\quad$ der $\beta = \dfrac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t}$ og $\vec{u}_\mathrm{ex}$ = utskutt masses hastighet relativ hovedmasse

Termisk fysikk:

n= antall mol $\quad N = nN_\mathrm{A}$ = antall molekyler $\quad n_\mathrm{f}$ = antall frihetsgrader

$\alpha = \ell^{-1}\mathrm{d}\ell/\mathrm{d}T \quad \beta = V^{-1}\mathrm{d}V/\mathrm{d}T$

$\Delta U = Q - W \quad C = \frac{1}{n}\frac{đQ}{\mathrm{d}T} \quad C' = \frac{1}{m}\frac{đQ}{\mathrm{d}T}$

$pV = nRT = Nk_\mathrm{B}T \quad pV = N\,\frac{2}{3}\,\langle E_\mathrm{k}\rangle \quad \langle E_\mathrm{k}\rangle = \frac{1}{2}m\,\langle v^2\rangle = \frac{3}{2}k_\mathrm{B}T \quad W = p\Delta V \quad W = \int_1^2 p\mathrm{d}V$

Ideell gass: $C_V = \frac{1}{2}n_\mathrm{f}R \quad C_p = \frac{1}{2}(n_\mathrm{f}+2)R = C_V + R \quad \gamma = \dfrac{C_p}{C_V} = \dfrac{n_\mathrm{f}+2}{n_\mathrm{f}} \quad \mathrm{d}U = C_V\,n\,\mathrm{d}T$

Adiabat: $Q = 0$ $\quad$ Ideell gass: pV^γ = konst. $\quad TV^{\gamma-1}$ = konst. $\quad T^\gamma p^{1-\gamma}$ = konst.

Virkningsgrader for varmekraftmaskiner: $\eta = \dfrac{W}{Q_\mathrm{inn}}$ $\quad$ Carnot: $\eta_\mathrm{C} = 1 - \dfrac{T_\mathrm{L}}{T_\mathrm{H}}$ $\quad$ Otto: $\eta_\mathrm{O} = 1 - \dfrac{1}{r^{\gamma-1}}$

Effektfaktorer: Kjøleskap: $\eta_\mathrm{K} = \left|\dfrac{Q_\mathrm{inn}}{W}\right| \xrightarrow{\text{Carnot}} \dfrac{T_\mathrm{L}}{T_\mathrm{H} - T_\mathrm{L}}$ $\quad$ Varmepumpe: $\eta_\mathrm{V} = \left|\dfrac{Q_\mathrm{ut}}{W}\right| \xrightarrow{\text{Carnot}} \dfrac{T_\mathrm{H}}{T_\mathrm{H} - T_\mathrm{L}}$

Clausius: $\sum \dfrac{Q}{T} \le 0 \quad \oint \dfrac{đQ}{T} \le 0$ $\quad$ Entropi: $\mathrm{d}S = \dfrac{đQ_\mathrm{rev}}{T} \quad \Delta S_{12} = \displaystyle\int_1^2 \dfrac{đQ_\mathrm{rev}}{T}$

1. og 2. hovedsetning: $\mathrm{d}U = đQ - đW = T\mathrm{d}S - p\mathrm{d}V$

Entropiendring $1 \to 2$ i en ideell gass: $\Delta S_{12} = nC_V \ln\dfrac{T_2}{T_1} + nR\ln\dfrac{V_2}{V_1}$

Varmeledning: $\dot{Q} = \dfrac{\kappa\,A}{\ell}\Delta T = \dfrac{1}{R}\,\Delta T \quad j_x = -\kappa\dfrac{\partial T}{\partial x} \quad \vec{j} = -\kappa\vec{\nabla}T$ $\quad$ Varmeovergang: $j = \alpha\Delta T$

Stråling: $j_s = e\sigma T^4 = a\sigma T^4 = (1-r)\sigma T^4 \quad j_s = \dfrac{c}{4}u(T)$

Planck: $j_\mathrm{s}(T) = \displaystyle\int_0^\infty \eta(j_\mathrm{s}, T)\mathrm{d}j_\mathrm{s}$ $\quad$ der j_s's frekvensspekter $= \eta(j_\mathrm{s}, T) = \dfrac{\mathrm{d}j_\mathrm{s}}{\mathrm{d}\lambda} = 2\pi hc^2 \cdot \dfrac{\lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{hc}{k_\mathrm{B}T\lambda}\right) - 1}$

Wiens forskyvningslov: $\lambda_\mathrm{max}\,T = 2898\ \mu\mathrm{m\ K}$

Studieprogram: MT.........

Kandidat nr. ____________

Dato: ________ Side*): ____

Antall ark: ____________

Svartabell for flervalgsspørsmål i oppgave 1.

*Denne siden skal fylles ut, rives av og leveres inn, *)* **fortrinnsvis som side 1.**
Husk informasjonen øverst til høyre.

Oppgave	Mitt svar
1-1	
1-2	
1-3	
1-4	
1-5	
1-6	
1-7	
1-8	
1-9	
1-10	
1-11	
1-12	
1-13	