NTNU
Kunnskap for en bedre verden

Institutt for fysikk

Eksamensoppgave i
TFY4115 FYSIKK
for MTNANO, MTTK og MTELSYS

Faglig kontakt under eksamen: Institutt for fysikk v/Tor Nordam
Tlf.: 470 22 879

Eksamensdato: Lørdag 20. august 2016
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 vektlegges ved bedømmelsen.
2. Noen generelle faglige merknader:
   - Størrelser angis i kursiv (f.eks. m for masse), 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 Tor Nordam.

Målform/språk: Bokmål.

Antall sider (uten denne forsida): 7.

Antall sider vedlegg: 3.

Kontrollert av:

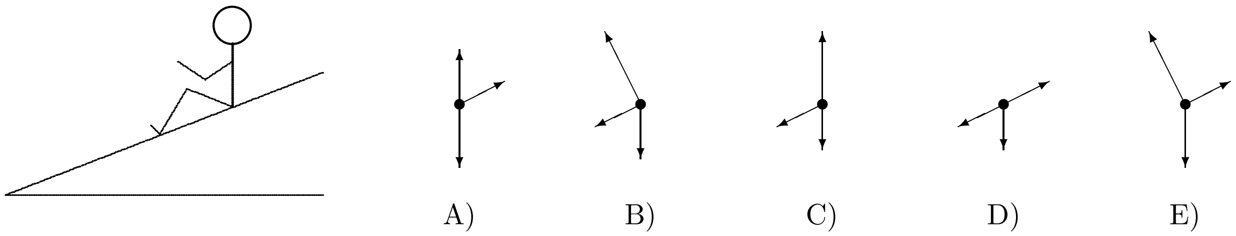
Informasjon om trykking av eksamensoppgave:	
Originalen er:	2-sidig; sort/hvitt

Dato Sign

(blank side)

Oppgave 1. Flervalgsspørsmål (teller 45 %, hver oppgave teller like mye)

1-1. En student sklir med konstant fart nedover et skråplan. Hvilket av kraftdiagrammene A-E representerer best kreftene som virker på studenten?



1-2. En massiv sylinder ruller langs et horisontalt golv med fart v. Sylinderens kinetiske energi er

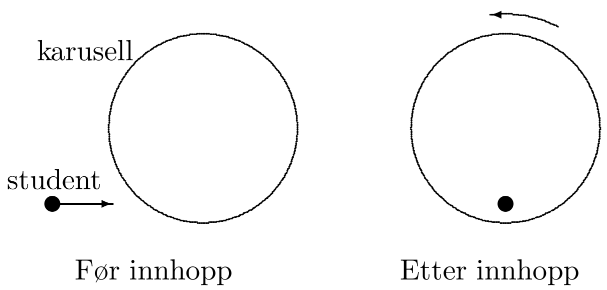
A) $\frac{1}{4}mv^2$
B) $\frac{1}{2}mv^2$
C) $\frac{3}{4}mv^2$
D) mv^2
E) $\frac{5}{4}mv^2$

1-3. Hvilket utsagn er rett for et legeme som beveger seg med konstant banefart i en sirkel? (Her er akselerasjon og hastighet vektorstørrelser.)

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.

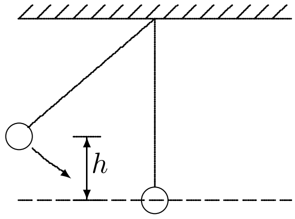
1-4. En student tar fart og hopper på en karusell som dermed begynner å rotere (tilnærmet friksjonsfritt) omkring en aksling som står fast i bakken, og som passerer gjennom karusellens sentrum. For systemet karusell + student, hvilke(n) størrelse(r) endrer seg *ikke* fra før til etter studentens innhopp på karusellen? (Her er E systemets energi, p systemets bevegelsesmengde og L systemets spinn mhp. en akse gjennom karusellens sentrum.)

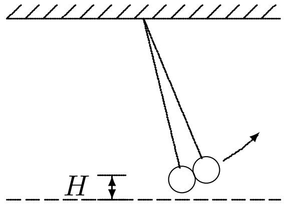
A) L
B) L og E
C) L og p
D) L, E og p
E) p



1-5. To like kuler henger i hver si snor med lik lengde. Ei av kulene blir sluppet fra en høyde h over bunnpunktet og treffer den andre kula på det laveste punktet 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) p

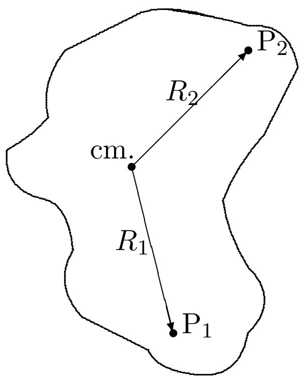




1-6. Vi betrakter samme kuler og størrelser som i oppgaven ovenfor. Etter kollisjonen når tyngdepunktet for de sammenfestede kulene opp til en høyde H som er gitt av
A) $3h/4$
B) $h/4$
C) $h/2$
D) h
E) $h/8$

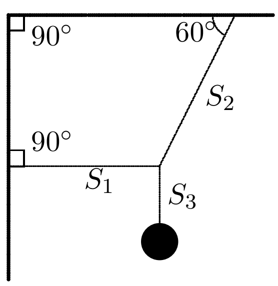
1-7. For legemet vist i figuren er $R_1 = R_2$ og "cm" er massesenteret (tyngdepunktet) til legemet. Treghetsmomentet om en akse gjennom punktet P_1 er I_1, treghetsmomentet om en akse gjennom punktet P_2 er I_2 og treghetsmomentet om en akse gjennom cm er I_{cm}. Alle aksene er parallelle og går normalt på papirplanet. Relasjonen mellom de ulike treghetsmoment er

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



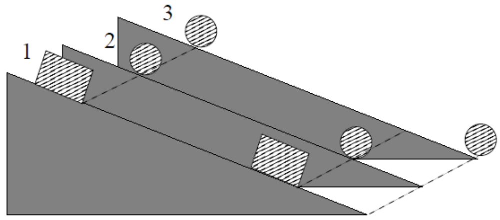
1-8. Ei tung kule er hengt opp med tre tau som vist. Snorkrafta i hvert tau er angitt med S_i. Hvilken av de følgende påstander er rett?

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 $S_2 > S_3$



1-9. 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) $f_1 > f_2 = f_3$



1-10. En varmekraftmaskin absorberer 64 kJ varme fra et varmt reservoar og gir fra seg 42 kJ varme til et kaldt reservoar for hvert omløp. Maskinens effektivitet er (avrundet til to gjeldende sifre):
A) 30%
B) 34%
C) 38%
D) 52%
E) 66%

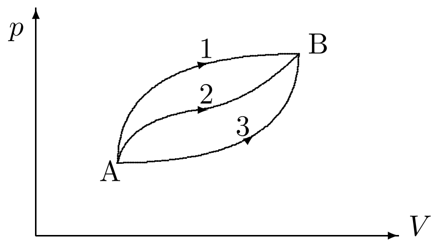
1-11. Et termodynamisk system blir tatt fra tilstand I til tilstand II og det er likevekt underveis i hele prosessen. For de gitte termodynamiske størrelser:
1 indre energi,
2 entropi,
3 temperatur,
4 arbeid,
5 varme.
er endringen uavhengig av vegen som prosessen gjennomfører for følgende:
A) 1, 2 og 3.
B) 2, 3 og 4.
C) 3, 4 og 5.
D) 1 og 3.
E) 4 og 5.

1-12. 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_{ad}. Hvilken påstand er rett?
A) $W_{\text{ad}} = W_T$
B) $W_{\text{ad}} < W_T$
C) $W_{\text{ad}} > W_T$
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.

1-13 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) $U/5$

1-14 Hvis trykket i en ideell gass fordobles idet gassen presses sammen til halvparten så stort volum, hvordan endres v_{rms}? ($v_{\text{rms}} = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$)
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.

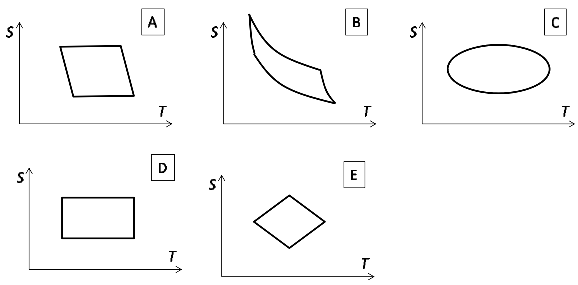
1-15. Et termodynamisk system kan bli ført fra tilstand A til tilstand B langs de tre mulige prosesser vist i pV-diagrammet. Hvis tilstand B har høyere indre energi U enn tilstand A, hvilken av prosessvegene i figuren har den største absoluttverdien $|Q|$ for varmen som utveksles under prosessen?
A) prosess 1
B) prosess 2
C) prosess 3
D) lik for alle prosesser
E) det er ikke nok informasjon til å gi svar.



1-16. En ideell (Carnot) varmepumpe brukes til å pumpe varme fra utvendig luft med temperatur -5 °C til varmluftforsyningen inne i huset, som er på +35 °C. Hvor mye arbeid bruker pumpa for å forsyne huset med 1,5 kJ varme?
A) 0,165 kJ
B) 0,195 kJ
C) 0,205 kJ
D) 0,212 kJ
E) 0,224 kJ

1-17. Hvilken av grafene A-E viser best en Carnotprosess i et (S, T)-diagram?

Tips: Husk at adiabatisk er det samme som isentropisk.

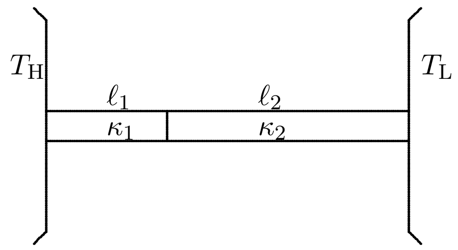


1-18. Et legeme har temperatur 227 °C og har en gitt netto varmeutstråling $P = P_{\mathrm{ut}} - P_{\mathrm{inn}}$. Hva blir legemets netto utstråling P' hvis legemets temperatur øker til 427 °C? Omgivelsene har konstant temperatur 0 °C. Både legemet og omgivelsene stråler som et svart legeme.

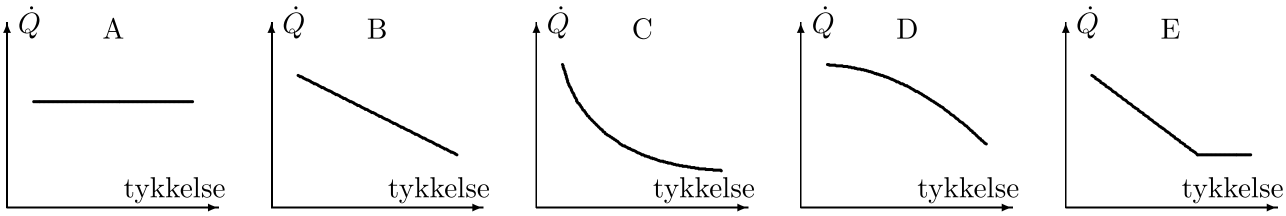
A) 4,1·P
B) 3,8·P
C) 12,5·P
D) 8,3·P
E) 6,7·P

1-19. Figuren viser to varmereservoar med temperaturer T_{H} og T_{L} som er forbundet med to metallsylindre med samme tverrsnitt A men ulik lengde ℓ_i og varmeledningsevne κ_i. Varmeresistansen for hvert materiale er definert $R_i = \dfrac{l_i}{A\kappa_i}$. Hva er den ekvivalente varmeresistansen R mellom varmereservoarene?

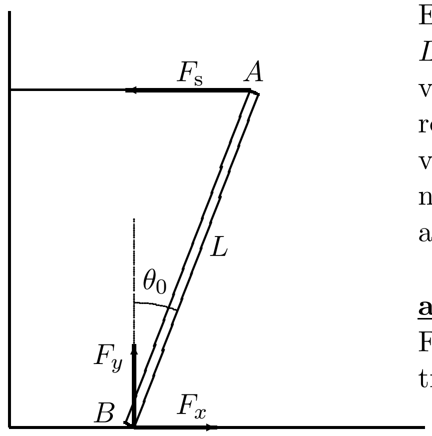
A) $R_1 + R_2$
B) $\frac{R_1+R_2}{2}$
C) $\frac{R_1 R_2}{R_1+R_2}$
D) $\frac{\ell_1 R_1+\ell_2 R_2}{\ell_1+\ell_2}$
E) $\frac{\kappa_1 R_1+\kappa_2 R_2}{\kappa_1+\kappa_2}$



1-20. La $\dot{Q}$ (i J/s = W) være den totale varmestrømmen gjennom et isolasjonsmateriale pga. varmeledningen gjennom materialet. Du måler $\dot{Q}$ for ulike tykkelser av materialet mens temperaturen på de to ytterflater holdes konstant. Hvilken av grafene A-E viser best varmestrømmen $\dot{Q}$ som funksjon av tykkelsen til materialet?



Oppgave 2. Fallende stang (teller 20 %)



Ei tynn, rett, homogen stang AB har masse M og lengde L. Stanga står på et plant, horisontalt underlag og danner vinkelen $\theta = \theta_0$ med vertikalretningen. Stanga holdes i ro med ei horisontal snor som er festa i enden A og i veggen, som vist i figuren. Friksjonskrafta F_x i B er stor nok til å hindre at stanga glir mot underlaget. Tyngdens akselerasjon er g.

a.
Finn snorkrafta F_s og kraftkomponentene F_x og F_y uttrykt med M, g og θ_0.

b. Hvor stor må den statiske friksjonskoeffisienten μ_s minst være for at stanga ikke skal gli mot underlaget når $\theta_0 = 30°$?

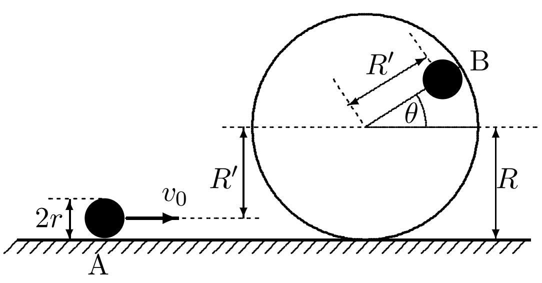
På et gitt tidspunkt kuttes snora. Straks etter faller stanga ved at den roterer fritt om endepunktet B. Friksjonen er stor nok til at endepunktet B ikke glir.

c. Finn uttrykk for stangas treghetsmoment I_B for rotasjon om punktet B.

d. Bruk Newtons 2. lov for rotasjon (spinnsatsen) til å finne stangas vinkelakselerasjon, α, om punktet B når stanga danner vinkelen $\theta \geq \theta_0$ med vertikalretningen, uttrykt med g, L og θ. (Dersom du ikke har funnet svar i c. kan I_B inngå i svaret.)

e. Bruk energibetraktning til å finne uttrykk for vinkelhastigheten $\omega = \dot{\theta}$ ved vinkelen θ.
TIPS: Kinetisk energi utgjøres kun av rotasjonsenergi om B.

Oppgave 3. Loop (teller 10%)



Ei massiv kule med radius r og masse m ruller med hastighet v_0 på et horisontalt underlag inn mot en "loop" med radius R. Det er under rullingen ingen energitap pga. kinetisk friksjon ("tapsfri" rulling).

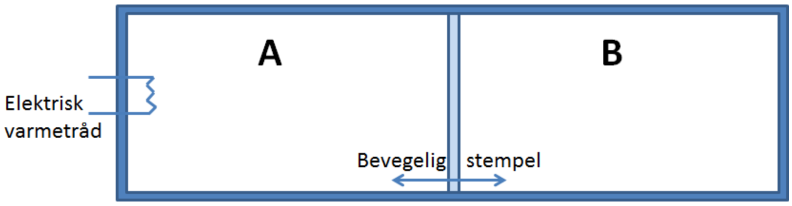
Figuren viser kula i to posisjoner, ved starten med fart v_0, og i et punkt B før den når toppunktet, her er vinkelen θ med horisontalen. Kula ruller hele denne strekningen, dvs. det er tilstrekkelig statisk friksjon til rein rulling.

Kulas utstrekning kan ikke neglisjeres, innfør derfor den effektive loopradiusen $R' = R - r$.
Ei massiv kule som ruller med translasjonsfart v har total kinetisk energi $E_k = \frac{7}{10}mv^2$.

a. Finn uttrykk for v_B^2 der v_B er hastigheten til kula i posisjon B. Kan inngå i svaret: v_0, θ, g og R'.

b. Kula vil miste kontakten med underlaget før den når toppunktet. Anta dette er i posisjonen B som over. Finn vinkelen θ når $R = 24,0$ cm, $r = 4,00$ cm, $m = 150$ g, og $v_0 = 2,50$ m/s.

Oppgave 4. **Termodynamikk (teller 25%)**



Et lukket rom har form av en sylinder som er atskilt i to rom A og B med et tett stempel som kan gli friksjonsfritt langs sylinderen. Rom A inneholder en enatomig, ideell gass og rom B inneholder en toatomig, ideell gass. Det kan tilføres varme til rom A (f.eks. ved en elektrisk glødetråd som vist i figuren), ellers er sylinderen varmeisolert fra omgivelsene. Stempelet varmeisolerer også fullstendig mellom A og B. Opprinnelig har hvert rom et volum $V_{\mathrm{A},0} = V_{\mathrm{B},0} = 5,00 \cdot 10^{-2}$ m^3, temperatur $T_{\mathrm{A},0} = T_{\mathrm{B},0} = 273$ K og trykk $p_{\mathrm{A},0} = p_{\mathrm{B},0} = 1,000$ atm. Enatomig ideell gass har antall frihetsgrader $n_{\mathrm{f}} = 3$ og toatomig ideell gass har $n_{\mathrm{f}} = 5$.

a. Beregn hvor mange mol gass det er i hvert rom.

Varme Q blir langsomt tilført gass A slik at volum A ekspanderer og B komprimeres inntil trykkene i begge gassene er $p_{\mathrm{A}} = p_{\mathrm{B}} = 3,00$ atm. Prosessene kan antas reversible. Merk at prosessen for gass B er adiabatisk.

b. Finn sluttvolumet V_{B} til gass B.

Det oppgis at sluttemperaturene i gassene blir henholdsvis $T_{\mathrm{A}} = 1264$ K og $T_{\mathrm{B}} = 373{,}6$ K og at sluttvolumet i gass A blir $V_{\mathrm{A}} = 7,72 \cdot 10^{-2}$ m^3. (Verdiene skal ikke brukes til å finne svar i pkt. **b.**)

c. Finn nødvendig tilført varme Q.

d. Beregn entropiendringen ΔS_{A} og ΔS_{B} i hver av de to gassene.

(blank side)

FORMELLISTE.

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

Fysiske konstanter:

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

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

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

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 = 1,013·10^5 Pa 1 cal = 4,19 J

Klassisk mekanikk:

$\dfrac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t} = \vec{F}(\vec{r}, t)$ $\quad$ 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: $E_{\mathrm{k}} = \frac{1}{2}mv^2$

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

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

Tørr friksjon: $|F_{\mathrm{f}}| \leq \mu_{\mathrm{s}}\, F_{\perp}$ eller $|F_{\mathrm{f}}| = \mu_{\mathrm{k}}\, F_{\perp}$ $\quad$ Våt friksjon: $\vec{F}_{\mathrm{f}} = -k_{\mathrm{f}}\vec{v}$ eller $\vec{F}_{\mathrm{f}} = -bv^2\hat{v}$

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): $\vec{R} = \dfrac{1}{M}\sum m_i \vec{r}_i \to \dfrac{1}{M}\displaystyle\int \vec{r}\,\mathrm{d}m$ $\quad$ $M = \sum m_i$

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

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

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

Spinn for rullende legeme: $\vec{L} = \vec{R}_{\mathrm{cm}} \times M\vec{V} + I_0\vec{\omega}$, $\quad$ Rotasjonsenergi: $E_{\mathrm{k,rot}} = \frac{1}{2}\,I\,\omega^2$,
der treghetsmoment $I \overset{\mathrm{def}}{=} \sum m_i r_i^2 \to \int r^2 \mathrm{d}m$ $\quad$ 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: $\ddot{\theta} + \omega_0^2 \sin\theta = 0$, der $\sin\theta \approx \theta$ $\quad$ Fysisk: $\omega_0 = \sqrt{\dfrac{mgd}{I}}$ 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: $\ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + \omega_0^2 x = f_0\cos\omega t$, med (partikulær)løsning når $t \gg \gamma^{-1}$:

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

"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

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

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

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

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

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	
1-14	
1-15	
1-16	
1-17	
1-18	
1-19	
1-20	

(blank side)