Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for fysikk

Kontaktperson/ contact person:
Navne/Namn/Name: Turid Worren Reenaas
Tlf/phone: 4121 5871

BOKMÅL+ NYNORSK + ENGLISH
Bokmål side 2 – 5
Nynorsk side 6 – 9
English page 10 – 13

VEDLEGG/APPENDIX
Formelliste/List of equations (2 pages)

EKSAMEN i TFY 4115 Fysikk

10. desember 2010

Varighet/Varigheit/Duration: 9-13

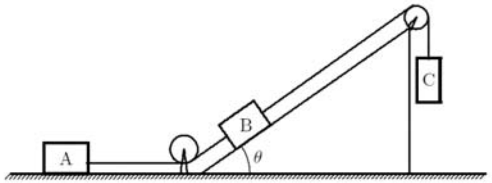
Tillatte hjelpemidler/Tillatne hjelpemiddel/Allowed resources:
Kalkulator/calculator: HP30S eller Citizen SR-270X
Rottman: Matematisk formelsamling (alle språkutgaver/all languages)
Barnett og Cronin: Mathematical Formulae

Alle 16 deloppgaver teller likt./
Alle 16 deloppgåver tel likt. /
All 16 subproblems have the same maximum score

Oppgavesettet er utarbeidet av Turid Worren Reenaas og Eivind Hiis Hauge./
Oppgåvsettet er utarbeidd av Turid Worren Reenaas og Eivind Hiis Hauge./
The problem set is put together by Turid Worren Reenaas og Eivind Hiis Hauge.

BOKMÅL

Oppgave 1
Tre klosser A, B og C er plassert som vist i figuren.



Bevegelsen til B foregår hele tiden på skråplanet. Klossene er forbundet med uelastiske snorer som har neglisjerbare masser. Trinsene er masse- og friksjonsløse. Klossene A og B har samme masse $m_A = m_B = 2{,}50$ kg, kloss C har masse m_C.

Den kinetiske friksjonskoeffisienten mellom A og B og underlaget er for begge $\mu_k = 0{,}350$. Skråplanet danner vinkelen $\theta = 36{,}9°$ med horisontalplanet.

Vekten til kloss C er slik at systemet beveger seg med konstant hastighet med A mot høyre.

a) Tegn figurer som viser kreftene på hver av klossene A, B og C, dvs tegn skisser av klossene, tegn inn kreftene og la kraftvektorene starte ved kreftenes angrepspunkt.

b) Finn snordraget for snora som forbinder kloss A og B.

c) Hva er massen til kloss C?

Oppgave 2
En bil med masse m kjører i en sirkelformet sving med radius 30,0m, som danner en vinkel θ med horisontalplanet, som vist under.

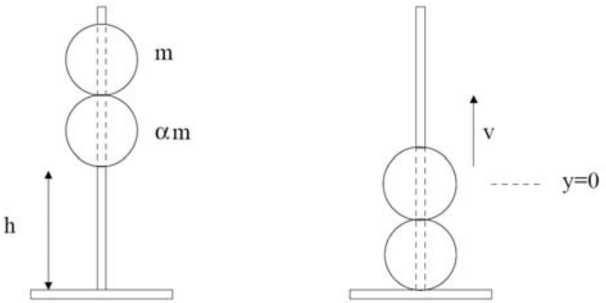
(a) Finn vinkelen θ som gjør at bilen kan runde svingen i 40,0 km/t selv om veien er dekket av is, slik at veien essensielt er uten friksjon, dvs vi antar μ_s=0.

(b) Anta så at veien ikke er dekket av is, men har en friksjonskoeffisient μ_s=0,3. Hva er øvre og nedre grense for farten bilen må ha nå (med vinkelen funnet i a) for at den skal holde konstant høyde gjennom svingen? [*Om du ikke har funnet tallsvar på vinkelen, bruk 24°.]* Evaluer svaret.

Oppgave 3

To baller, begge gjennomboret gjennom sentrum, kan gli friksjonsfritt nedover en stang. Den nederste ballen har masse αm og den øverste har masse m.

Ballene slippes, med null starthastighet, fra en høyde h over bakken, som vist i figuren. Alle kollisjoner er i denne oppgaven *fullstendig elastiske*. Anta at luftmotstanden er null.



a) Hva er den nederste ballens hastighet v_0 rett *før* støtet mot bakken? Hva er dens hastighet rett *etter* støtet mot bakken?

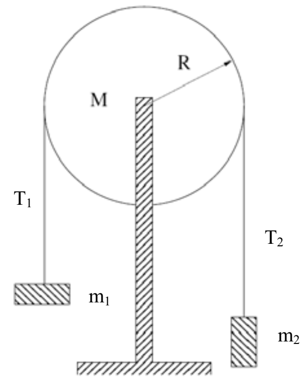
b) Umiddelbart etter at nederste ball har fullført støtet mot bakken kolliderer de to ballene med hverandre. Bestem den øverste ballens hastighet v rett etter kollisjonen. Finn også ut hvor høyt, y, den vil sprette.

Uttrykk v og y ved h og α (eventuelt v_0 og α hvis du ikke har bestemt v_0 i forrige punkt).

Kommenter kort uttrykket for y for grensetilfellene $\alpha << 1$ og $\alpha >> 1$, samt spesialtilfellet $\alpha = 1$.

Oppgave 4

Figuren viser en masseløs og uelastisk snor over en trinse med radius R og masse M, som forbinder massene m_1 og m_2, der $m_2 > m_1$. Trinsen har form som en sylinder, med treghetsmoment om omdreiningsaksen $I_0 = ½ MR^2$. Friksjonen mellom snor og trinse er tilstrekkelig til at snora ikke sklir på trinsen. Trinsen kan rotere friksjonsfritt.



a) Først, uten å regne: Når dette systemet slippes løs etter å ha vært holdt i ro, hvilken vei går bevegelsen?

Er snordragene T_1 og T_2 like store? Hvorfor/hvorfor ikke?

b) Bruk sammenhengen mellom den lineære akselerasjonen til massene m_1 og m_2 og trinsens vinkelakselerasjon, samt Newtons andre lov for translasjon og for rotasjon, til å uttrykke akselerasjonen a, samt snordragene T_1 og T_2 ved de oppgitte størrelser.

c) Sjekk resultatene i grensene $M \to 0$ og $M \to \infty$. Er de fornuftige?

Oppgave 5

a) Hva vil det si at en termodynamisk prosess er
  i. reversibel?
  ii. adiabatisk?

Kan en adiabatisk prosess være irreversibel?

b) Beskriv Carnot prosessen og definer prosessens effektivitet (virkningsgrad), dersom prosessen brukes for å generere arbeid. Lag figurer som viser kretsprosessen i et pV-diagram, hvor du indikerer de ulike delprosessene og for hvilke delprosesser varme tilføres og varme avgis. Hvordan avhenger effektiviteten av temperaturen på det varme og kalde reservoaret? (Utledning trengs ikke.)

c) Anta at et varmekraftverk har dampturbiner som leverer et arbeid på 1000 MJ hvert sekund. Dampen går inn i turbinene overopphetet ved 550 K og avgir den ubenyttede varmen i en elv med temperatur 290 K. Anta at turbinen har en virkningsgrad som er 80% av virkningsgraden til en reversibel Carnotmaskin som opererer mellom de gitte temperaturene.

Beregn den varmemengden som avgis til elvevannet pr. sekund når kraftverket genererer 1000 MJ/s.

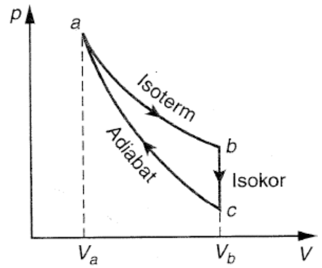
Beregn temperaturøkningen i elva nedenfor kraftverket dersom vannføringen i elva er $50 m^3/s$.

Oppgitt: $c_{vann} = 4190$ J/(kgK), $\rho_{vann} = 10^3$ kg/m^3

Oppgave 6

a) To mol toatomige molekyler i en ideell gass gjennomløper en kretsprosess (a → b → c → a i figuren under) som består av en isoterm (a → b), en isokor (b → c) og en adiabatisk prosess (c → a).

Tilstand c er gitt ved $p_c = 1\text{atm} = 1{,}01{\cdot}10^5$ Pa, $T_c = 293$ K. Beregn gassens volum i tilstand c og dens trykk, volum og temperatur i a og b når $T_b = 393$ K.



b) Beregn arbeidet utført av gassen i prosessene a → b i figuren og c → a. Hva blir det totale arbeidet utført av gassen i løpet av kretsprosessen?

Oppgitt: R = 8,31 J/(mol K), $C_v = 20{,}79$ J/(mol K), $\gamma = C_p/ C_v = 1{,}40$

$$\int_a^b \frac{1}{x}dx = ln\frac{b}{a}$$

Oppgave 7

En delvis naken mann, med et eksponert (nakent) areal på 0,4 m^2 har i utgangspunktet en overflatetemperatur på 30°C. Hvis varmestråling er den dominerende varmeoverføringsmekanismen, hvor stort er da netto varmetap per sekund i starten? Anta at omgivelsene har en temperatur på -16°C og at huden har en emissivitet på e = 1.

Hvilke andre varmeoverføringsmekanismer er mulige?

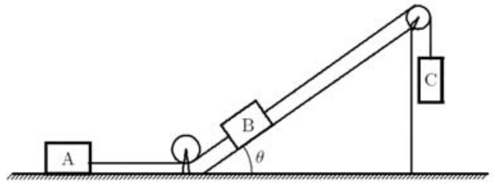
Oppgitt:

$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$ W/(m^2 K^4)

NYNORSK

Oppgåve 1

Tre klossar A, B og C er plassert som vist i figuren.



Rørsla til B går heile tida føre seg på skråplanet. Klossane er forbundne med uelastiske snorer som har ørsmå massar. Trinsene er utan masse og friksjon. Klossane A og B har same masse $m_A = m_B = 2{,}50$ kg, kloss C har masse m_C.

Den kinetiske friksjonskoeffisienten mellom A og B og underlaget er for båe $\mu_k = 0{,}350$. Skråplanet dannar vinkelen θ = 36,9° med horisontalplanet.

Vekten til kloss C er slik at systemet flyttar seg med konstant fart med A mot høgre.

a) Teikn figurar som viser kreftene på kvar av klossane A, B og C, dvs teikn skisser av klossane, teikn inn kreftene og la kraftvektorane starte ved kreftenes angrepspunkt.

b) Finn snordraget for snora som binder saman kloss A og B.

c) Kva er massen til kloss C?

Oppgåve 2.

Ein bil med masse m kjører i ein sirkelforma sving med radius 30,0m, som dannar ein vinkel θ med horisontalplanet, som vist under.

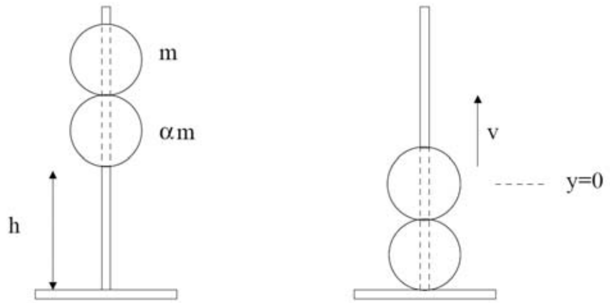
(a) Finn vinkelen θ som gjør at bilen kan runde svingen i 40,0 km/t sjølv om vegen er dekt av is, slik at vegen essensielt er utan friksjon, dvs vi antek μ_s=0.

(b) Anta så at vegen ikkje er dekket av is, men har ein friksjonskoeffisient μ_s=0,3. Kva er øvste og nedste grense for farten bilen må ha no (med vinkelen funne i a) for at den skal halde konstant høgde gjennom svingen? [*Om du ikkje har funne talsvar på vinkelen, bruk 24°.]* Evaluer svaret.

Oppgåve 3

To ballar, begge gjennombora gjennom sentrum, kan gli friksjonsfritt nedover ein stang. Den nedste ballen har masse αm og den øvste har masse m.

Ballane vert sleppte med null startfart, frå ei høgd h over bakken, som vist i figuren. Alle kollisjonar er i denne oppgåva *fullstendig elastiske*. Anta at luftmotstanden er null.



a) Kva er den nedste ballens fart v_0 rett *før* støyten mot bakken? Kva er farta til denne ballen rett *etter* støyten mot underlaget?

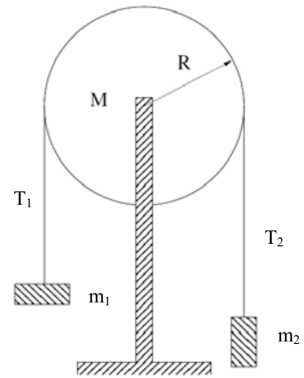
b) Umiddelbart etter at nedste ball har fullført støyten mot bakken kolliderer dei to ballane med kvarandre. Finn den øvste ballens fart v rett etter kollisjonen. Finn også ut kor høgt, y, den vil sprette.

Uttrykk v og y ved h og α (eventuelt v_0 og α viss du ikkje har bestemt v_0 i punkt a).

Kommenter kort uttrykket for y for grensetilfella $\alpha << 1$ og $\alpha >> 1$, samt spesialtilfellet $\alpha = 1$.

Oppgåve 4

Figuren viser ein masselaus og uelastisk snor over ei trinse med radius R og masse M, som binder samen massane m_1 og m_2, der $m_2 > m_1$. Trinsa har form som ein sylinder, med tregleikmoment om dreieaksen $I_0 = ½ MR^2$. Friksjonen mellom snor og trinse er stor nok til at snora ikkje sklir på trinsa. Trinsa kan rotere friksjonsfritt.



a) Først, utan å rekne: Når dette systemet er slept laus etter å ha vært halden i ro, kva for retning e rørsla?

Er snordraga T_1 og T_2 like store? Kvifor/kvifor ikkje?

b) Bruk samanhengen mellom den lineære akselerasjonen til massane m_1 og m_2 og trinsas vinkelakselerasjon, samt Newtons andre lov for translasjon og for rotasjon, til å uttrykke akselerasjonen a, samt snordraga T_1 og T_2 ved de oppgitte størrelsar.

c) Sjekk resultata i grensene $M \to 0$ og $M \to \infty$. Er dei fornuftige?

Oppgåve 5
a) Kva vil det si at ein termodynamisk prosess er
iii. reversibel?
iv. adiabatisk?
Kan ein adiabatisk prosess være irreversibel?

b) Beskriv Carnot-prosessen og definer prosessens verkegrad (effektivitet), dersom prosessen brukast for å generere arbeid. Lag figurer som viser kretsprosessen i eit pV-diagram, kor du indikerer de ulike delprosessane og for kva for delprosessar varme tilførast og varme fjernast. Korleis avheng effektiviteten av temperaturen på det varme og kalde reservoaret? (Utleiing trengst ikkje.)

c) Anta at eit varmekraftverk har dampturbinar som leverer eit arbeid på 1000MJ kvart sekund. Dampen går inn i turbinane over oppvarma ved 550 K og den unytta varmen blir gjeven til ei elv med temperatur 290 K. Anta at turbinen har ein effektivitet som er 80% av effektiviteten til ein reversibel Carnot-maskin som opererer mellom dei gjevne temperaturane.

Rekn ut den varmemengda som gjevast til elvevatnet pr. sekund når kraftverket gjev 1000 MJ/s.

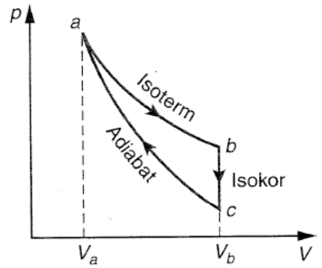
rekn ut temperaturstiginga i elva nedanfor kraftverket dersom vassføringa i elva er $50m^3/s$.

Konstantar: $c_{vatn} = 4190$ J/(kg K), $\rho_{vatn} = 10^3$ kg/m^3

Oppgåve 6

a) To mol toatomige molekyler i ein ideell gass gjeng gjennom ein kretsprosess (a → b → c → a i figuren under) som inneheld ein isoterm (a → b), ein isokor (b → c) og ein adiabatisk prosess (c → a).

Tilstand c er gjeven ved $p_c = 1 atm = 1{,}01 \cdot 10^5$ Pa, $T_c = 293$ K. Rekn ut volumet til gassen i tilstand c og gassens trykk, volum og temperatur i a og b når $T_b = 393$ K.



b) Rekn ut arbeidet utført av gassen i prosessane a → b i figuren og c → a. Kva blir det totale arbeidet utført av gassen i løpet av kretsprosessen?

Konstantar etc: R = 8,31 J/mol K , C_v = 20,79 J/mol K , $\gamma = C_p/ C_v = 1{,}40$

$$\int_a^b \frac{1}{x} dx = ln \frac{b}{a}$$

Oppgåve 7

En delvis naken mann, med eit eksponert (nakent) areal på 0,4 m^2 har i utgangspunktet ein overflatetemperatur på 30°C. Om varmestråling er den dominerande varmeoverføringsmekanismen, kor stort er då netto varmetap per sekund i starten? Anta at omgjevnaden har ein temperatur på -16°C og at huda har ein emissivitet på e= 1.

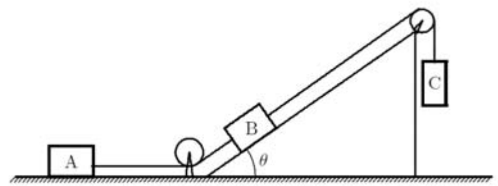
Kva for andre varmeoverføringsmekanismar er moglege?

Konstant: $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$ W/(m^2 K^4)

ENGLISH

Problem 1

Three boxes A, B and C are positioned as shown in the figure:



The motion of B is all the time on the inclined plane. The boxes are connected with inelastic wires that have negligible masses. The pulleys are mass and friction free. The boxes A and B have the same mass $m_A = m_B = 2.50$ kg, box C has mass m_C.

The kinetic coefficient of friction between A and B and the surface is $\mu_k = 0.350$ for both of them. The inclined plane is at an angle θ = 36.9° relative to the horizontal plane.

The weight of box C is such that the all the boxes move with constant velocity, with A moving to the right.

a) Make drawings of the boxes and indicate the forces acting on each box A, B and C, i.e. draw a sketch of the boxes and add the forces, with the force vectors starting where the force is acting.

b) Find the tension in the wire that connects box A and B.

c) What is the mass of box C?

Problem 2

A car with mass m is moving in a circular bend, with a radius r = 30.0 m, that is forming an angle θ relative to the horizontal plane, as shown below.

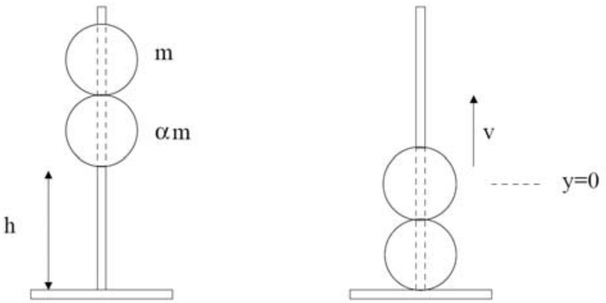
(a) Determine the angle θ needed to have the car drive through the bend at a speed of 40.0 km/h, when the road is covered with ice, making is essentially without friction, i.e. we assume μ_s=0.

(b) Assume next that the road is free of ice, but has a coefficient of friction of $\mu_s = 0.3$. What are the upper and lower limits for the speed of the car in this case (with the same angle as in a) for keeping the car at a constant height through the bend. [If you don’t have a numerical value for the angle, use *24°.]* Evaluate the answer.

Problem 3

Two balls, both with holes through their centres, can slide without friction down along a pole. The lower ball has mass αm and the upper one has mass m.

The balls are released, with zero initial speed, from an altitude h above the ground, as shown in the figure. All collisions are assumed to be *completely elastic*. Assume zero air resistance.



a) What is the velocity v_0 of the lower ball immediately *before* it collides with the ground? What is its velocity immediately after the collision with the ground?

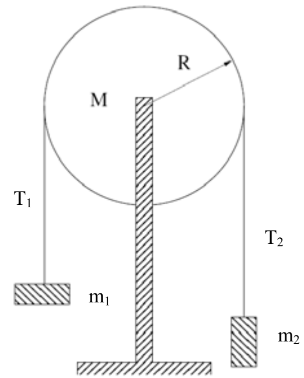
b) Immediately after the lowest ball has completed the collision with the ground, the two balls collide. Determine the velocity v of the upper ball immediately after the collision. Also determine how high, y, the upper ball will bounce.

Express v and y by h and α (or v_0 and α, if you could not determine v_0 in a).

Comment briefly the expression for y for the limits $\alpha << 1$ and $\alpha >> 1$, and the special case $\alpha = 1$.

Problem 4

An inelastic wire with no mass is hanging over a pulley with radius R and mass M. The wire connects the masses m_1 and m_2, where $m_2 > m_1$. The pulley is shaped as a cylinder that has a moment of inertia of $I_0 = ½ MR^2$. The friction between the wire and the pulley is sufficient to keep the wire from slipping. The pulley can rotate without friction.



a) First without doing any calculations: When the system is released from rest, which direction will the movement be?

Are the tensions T_1 and T_2 equal? Why/why not?

b) Use the relationship between the linear acceleration of the masses m_1 and m_2 and the angular acceleration of the pulley, plus Newton's 2^{nd} law for translation and rotation, to express the acceleration, a, and the tensions, T_1 and T_2, using the given parameters.

c) Evaluate the result for the limits $M \rightarrow 0$ and $M \rightarrow \infty$. Are they reasonable?

Problem 5

a) What does it imply that a thermodynamic process is
   i. reversible?
   ii. adiabatic?
Can an adiabatic process be irreversible?

b) Describe the Carnot process and define the efficiency of the process. Make a drawing of the process in a pV-diagram, where you indicate the various parts of the process and for what processes heat is added and released. How does the efficiency vary with the temperature of the hot and cold heat reservoirs? (You don't have to derive the expression.)

c) Assume that a heat power plant has steam turbines that generate an amount of work of 1000MJ each second. The steam enters the turbines superheated to 550 K and the un-utilized heat is released to a river at temperature 290 K. Assume that the turbine has an efficiency that is 80% of the efficiency of a reversible Carnot heat engine that operates between the given temperatures.

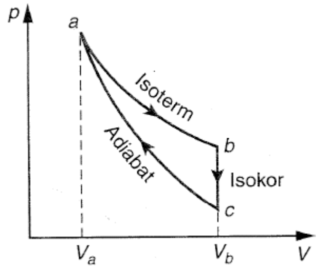
Calculate the amount of heat that is released to the water in the river per second, when the power plant generates 1000 MJ/s.

Calculate the resulting temperature increase in the river if the flow of water in the river is $50m^3/s$.

Given constants: $c_{water} = 4190$ J/(kgK), $\rho_{water} = 10^3$ kg/m^3

Problem 6

a) Two moles of diatomic molecules in an ideal gas undergo a cyclic process ($a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow a$ in the figure below) consisting of an isotherm ($a \rightarrow b$), an isochor ($b \rightarrow c$) and an adiabatic ($c \rightarrow a$) process.



State c is given by $p_c = 1\text{atm} = 1.01 \cdot 10^5$ Pa, $T_c = 293$ K. Calculate the volume of the gas in state c, and the pressure, volume and temperature in a and b when $T_b = 393$ K.

b) Calculate the amount of work done by the gas in the processes $a \rightarrow b$ and $c \rightarrow a$. What is the total work done by the gas during the cyclic process?

Given constants etc: R = 8.31 J/(mole K), C_v = 20,79 J/(mole K), $\gamma = C_p / C_v = 1.40$

$$\int_a^b \frac{1}{x} dx = \ln \frac{b}{a}$$

Problem 7

A partly naked man, with an exposed (naked) surface area of 0.4 m^2 has initially a surface temperature of 30°C. If radiative heat transfer is the dominant heat transfer process, what is the net heat loss per second initially? Assume that the surroundings has a temperature of -16°C and that the skin has an emissivity of e = 1.

What other heat transfer processes can take place?

Constant: $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ W/(m^2 K^4)

VEDLEGG: Formelliste for emnet TFY4115, høsten 2010.

Formlenes gyldighetsområde og de ulike symbolenes betydning antas åvære kjent. Vektorer er (ifølge internasjonal standard) skrevet med fete typer i kursiv (som $\boldsymbol{V}$).

Fysiske konstanter:

Ett mol: $M(^{12}\mathrm{C}) = 12\,\mathrm{g}$ $\quad 1\mathrm{u} = m(^{12}\mathrm{C})/12 = 1.660\,538 \cdot 10^{-27}\mathrm{kg}$ $\quad N_\mathrm{A} = 6.02 \cdot 10^{23}\,\mathrm{mol}^{-1}$

$k_\mathrm{B} = 1.38 \cdot 10^{-23}\,\mathrm{J/K}$ $\quad R = N_\mathrm{A} k_\mathrm{B} = 8.31\,\mathrm{J\,mol^{-1}K^{-1}}$ $\quad \sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}\,\mathrm{Wm^{-2}K^{-4}}$

$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{C^2/Nm^2}$ $\quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\,\mathrm{N/A^2}$ $\quad e = 1.6 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$ $\quad m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg}$

$c = 2.999\,724 \cdot 10^8\,\mathrm{m/s}$ $\quad h = 6.63 \cdot 10^{-34}\,\mathrm{Js}$ $\quad 0°\mathrm{C} = 273\,\mathrm{K}$ $\quad g = 9.81\,\mathrm{m/s^2}$

SI-enheter:

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

Avledete SI-enheter: newton (N) pascal (Pa) joule (J) watt (W) hertz (Hz)
coulomb (C) farad (F) volt (V) ohm (Ω) tesla (T) weber (Wb) henry (H)

Varianter: gauss (G), 1 G= 10^{-4} T $\quad$ 1 kWh = 3.6 MJ $\quad$ 1 m/s = 3.6 km/h

Ångstrøm (Å) 1 Å= 10^{-10} m $\quad$ 1 atm = $1.013 \cdot 10^5$ Pa

Klassisk mekanikk:

$\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{p}}{\mathrm{d}t} = \boldsymbol{F}(\boldsymbol{r}, t)$ der $\boldsymbol{p}(\boldsymbol{r}, t) = m\boldsymbol{v} = m\dot{\boldsymbol{r}}$; $\quad \boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$; $\quad$ Konstant a: $\quad v = v_0 + at$; $\quad s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$

Arbeid: $\mathrm{d}W = \boldsymbol{F} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{s}$; Kinetisk energi: $K = \frac{1}{2}mv^2$; $U(\boldsymbol{r})$ = potensiell en. (tyngde: mgh; fjær: $\frac{1}{2}kx^2$)

$F_x = -\frac{\partial}{\partial x}U(x, y, z)$(etc.); $\quad W_{kons} + W_{ikke-kons} = \Delta K = K_2 - K_1 \quad W_{kons} = \Delta K = -\Delta U$

Tørr friksjon : $|F_\mathrm{f}| \le \mu_\mathrm{s} \cdot F_n$ eller $|F_\mathrm{f}| = \mu_\mathrm{k} \cdot F_n$; $\quad$ Våt (viskøs, laminær) friksjon : $\boldsymbol{F}_\mathrm{f} = -k_\mathrm{f}\boldsymbol{v}$

Dreiemoment: $\boldsymbol{\tau} = (\boldsymbol{r} - \boldsymbol{r}_0) \times \boldsymbol{F}$, med $\boldsymbol{r}_0$ som valgt referansepunkt; $\quad$ Arbeid: $\mathrm{d}W = \tau \mathrm{d}\theta$

Betingelser for statisk likevekt: $\Sigma_i \boldsymbol{F}_i = \boldsymbol{0}$; $\quad \Sigma_i \boldsymbol{\tau}_i = \boldsymbol{0}$, uansett valg av referansepunkt $\boldsymbol{r}_0$ i $\boldsymbol{\tau}_i$

Massemiddelpunkt (tyngdepunkt): $\boldsymbol{R} = \sum_i m_i \boldsymbol{r}_i / M$; $\quad M = \sum_i m_i$

Elastisk støt: $\sum_i \boldsymbol{p}_i$ = konstant; $\quad \sum_i E_i$ = konstant

Uelastisk støt: $\sum_i \boldsymbol{p}_i$ = konstant

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

Sirkelbevegelse rundt origo: $\boldsymbol{v} = \boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{r}$; $\quad v = r\omega$

Sentripetalakselerasjon: $\boldsymbol{a} = -v\omega\hat{\boldsymbol{r}} = -(v^2/r)\hat{\boldsymbol{r}} = -r\omega^2\hat{\boldsymbol{r}}$

Baneakselerasjon: $a_\theta = \mathrm{d}v/\mathrm{d}t = r\,\mathrm{d}\omega/\mathrm{d}t = r\,\alpha$

Rotasjonsenergi: $K_{\rm rot} = \frac{1}{2}\, I\, \omega^2,$ der I er treghetsmomentet

$I \overset{\rm def}{=} \sum_i m_i r_{i\perp}^2 \to \int_V r_\perp^2 {\rm d}m = \int_V {\rm d}^3 r \mu\, r_\perp^2,$ der $r_{i\perp}$ er avstanden fra m_i til rotasjonsaksen.
Med aksen gjennom massemiddelpunktet: $I \to I_0$, Massiv kule: $I_0 = \frac{2}{5}\, MR^2$

Kuleskall: $I_0 = \frac{2}{3}\, MR^2$; Kompakt sylinder/skive: $I_0 = \frac{1}{2} MR^2$; Ring: $I_0 = MR^2$

Lang, tynn stav: $I_0 = \frac{1}{12}\, M\ell^2$; Parallellakseteoremet (Steiners sats): $I = I_0 + Mb^2$

Dreieimpuls: $\boldsymbol{L}_{\rm bane} = M(\boldsymbol{R} - \boldsymbol{r}_0) \times \boldsymbol{V},$ der $\boldsymbol{r}_0$ er det felles referansepunkt for $\boldsymbol{L}$ og $\boldsymbol{\tau}$,
og tyngdepunktsbevegelsen er gitt av $(\boldsymbol{R}, \boldsymbol{V} = {\rm d}\boldsymbol{R}/{\rm d}t)$; Egenspinn: $\boldsymbol{L}_{\rm egen} = I_0 \cdot \boldsymbol{\omega}$

Med (sylinder)symmetriske faste legemer: $\boldsymbol{L}_{\rm tot} = \boldsymbol{L}_{\rm bane} + \boldsymbol{L}_{\rm egen}$; $\boldsymbol{\tau}_{\rm tot} = {\rm d}\boldsymbol{L}_{\rm tot}/{\rm d}t$

Termisk fysikk:

n= antall mol ; $N = nN_A$ = antall molekyler; f = antall frihetsgrader; $\alpha = \ell^{-1}{\rm d}\ell/{\rm d}T$

$\Delta Q = \Delta U + \Delta W$; $C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$; Varmekapasiteten kan være gitt pr. masseenhet eller pr. mol

$dQ = dU + dW$

$pV = nRT = Nk_BT$; $pV = N\frac{2}{3}\overline{K}$; $\overline{K} = \frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{3}{2}k_BT$; $\Delta W = p\Delta V$; $W = \int_1^2 p{\rm d}V$

Størrelser pr. mol: $C_V = \frac{1}{2}fR$; $C_p = \frac{1}{2}(f+2)R = C_V + R$; ${\rm d}U = C_V \cdot {\rm d}T$

For ideell gass: $\gamma = C_p/C_V = (f+2)/f$; Adiabat: $pV^\gamma =$ konst.; $TV^{\gamma-1} =$ konst.

Virkningsgrader for varmekraftmaskiner: $\varepsilon = W/Q_v$; Carnot: $\varepsilon = 1 - T_k/T_v$; Otto: $\varepsilon = 1 - 1/r^{\gamma-1}$

Effektfaktorer: Kjøleskap: $\eta_K = \left|\frac{Q_k}{W}\right| \xrightarrow{\rm Carnot} \frac{T_k}{T_v - T_k}$; Varmepumpe: $\eta_{VP} = \left|\frac{Q_v}{W}\right| \xrightarrow{\rm Carnot} \frac{T_v}{T_v - T_k}$

Clausius: $\sum \frac{\Delta Q}{T} \leq 0$; $\oint \frac{{\rm d}Q}{T} \leq 0$; Entropi: ${\rm d}S = \frac{{\rm d}Q_{\rm rev}}{T}$; $\Delta S_{12} = \int_1^2 \frac{{\rm d}Q_{\rm rev}}{T}$

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

Varmeledning: $j_x = \frac{1}{A_\perp}\frac{\partial Q_x}{\partial t} = \frac{1}{A_\perp} H_x = -\kappa \frac{\partial T}{\partial x}$, κ= varmeledningsevne; $\boldsymbol{j} = -\kappa \nabla T$;

Stråling: $j_s = e\sigma T^4 = a\sigma T^4 = (1-r)\sigma T^4$