

NORGES TEKNISK-
NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET
INSTITUTT FOR FYSIKK

Fagleg kontakt under eksamen:
 Institutt for fysikk, Gløshaugen
 Professor Steinar Raaen, tlf.482 96 758

EKSAMEN I EMNE TFY4125 FYSIKK

Mandag 26. mai 2008

Tid: kl 09.00-13.00

Hjelpemiddel: Alternativ C
 Godkjend lommekalkulator.
 Rottman: Matematisk formelsamling (alle språkutgaver)
 Barnett and Cronin: Mathematical Formulae
 Vedlagt formelark (VEDLEGG C)

Sensuren fell 16. juni

Eksamen består av:

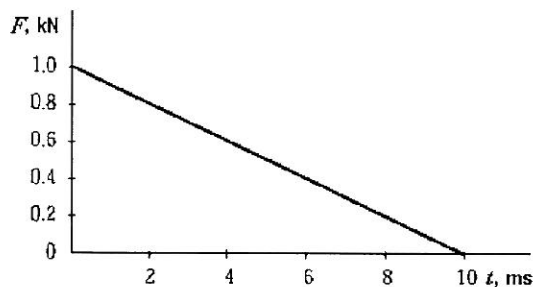
1. Førstesida (denne siden) som skal leveres inn som svar på flervalgsspørsmåla
2. Eit sett med flervalgsspørsmål, Oppgave 1 (Vedlegg A)
3. Tre ‘normale oppgaver’, Oppgaver 2-4 (Vedlegg B)
4. Formelark med aktuelle fysiske formlar og konstantar (Vedlegg C)

Dei tre ‘normale oppgavene’ og flervalgsspørsmåla teller 25 % hver. Ved svar på flervalgsspørsmåla skal bare ETT av svaralternativa A-E merkes for hvert av dei 12 spørsmåla. Riktig svar gir ett poeng mens feil svar gir null poeng.

[illegible]

Oppgave 1.

1.



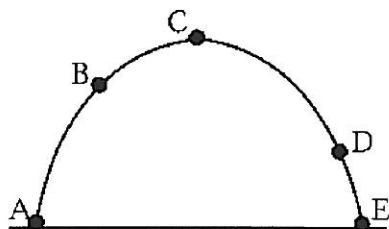
Et legeme blir påvirket av en kraft fra tiden $t = 0$ til tiden $t = 10$ ms. I løpet av denne tiden avtar kraften lineært fra 10^3 N til null, som vist i grafen. Endringen i bevegelsesmengde for legemet i løpet av denne tiden er

- A) $10 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
- B) $5,0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
- C) $0,16 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
- D) $10^5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
- E) tallverdien kan ikke bestemmes på grunnlag av den oppgitte grafen.

2. En stige med lengde 8 m og masse 30 kg står mot en friksjonsløs, vertikal vegg. Vinkelen mellom stigen og det horisontale underlaget er 55 grader. Tyngdepunktet til stigen er i en avstand $3/8$ fra bunnen av stigen. Beregn størrelsen av den resulterende kraften (summen av vertikal og horisontal kraft) som virker på stigen fra det horisontale underlaget. (Hint: se på statisk likevekt)

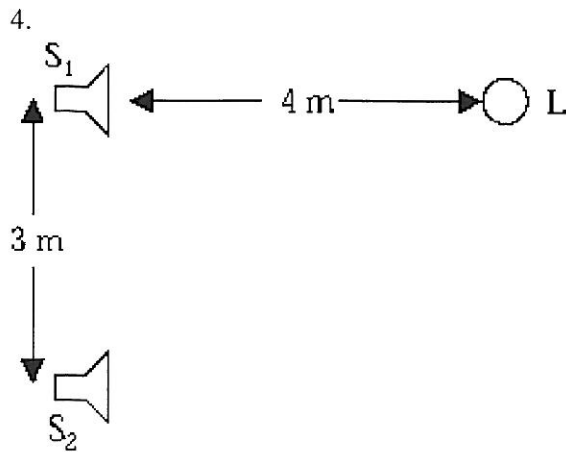
- A) 371 N
- B) 294 N
- C) 77.0 N
- D) 304 N
- E) 284 N

3.



Figuren viser en parabolisk bane fra A til E for en ball som kastes i jordens tyngdefelt, men i fravær av luftfriksjon. Hva er retningen til ballens akselerasjon i punkt B?

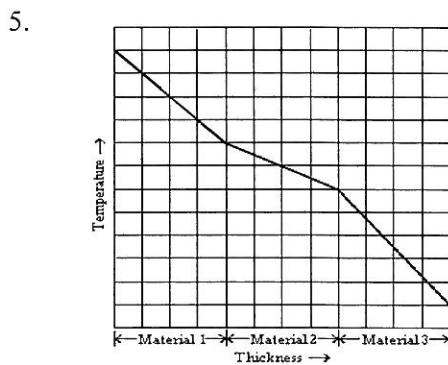
- A) Oppover og til høyre.
- B) Nedover og til venstre.
- C) Rett opp.
- D) Rett ned.
- E) Akselerasjonen er null.



To høyttalere S_1 og S_2 med innbyrdes avstand 3.0 m sender ut en tone slik at lydsvingningene er i fase med hverandre ved høyttaleroverflatene. Lytteren L rett ut for høyttaler S_1 merker at lyden har et intensitetsminimum i avstand 4.0 m fra høyttaleren (se figuren). Hva er den laveste frekvensen i den utsendte tonen?

Lydhastigheten i luft er 340 m/s.

- A) 85 Hz
- B) 0.17 kHz
- C) 0.26 kHz
- D) 0.34 kHz
- E) 0.51 kHz

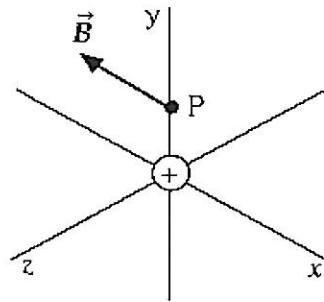


Grafen viser temperatur som funksjon av tykkelse gjennom tre materiallag med samme tykkelse, men forskjellig varmeledningsevne. Anta at varmestrømmen gjennom det sammensatte materialet er i stasjonær tilstand, hva kan du da si om materialene?

- A) Materiale 1 har størst varmeledningsevne.
- B) Materiale 2 har størst varmeledningsevne.
- C) Materiale 3 har størst varmeledningsevne.
- D) Alle de tre materialene har samme varmeledningsevne.
- E) Det er ikke mulig å bestemme hvilket materiale som har størst varmeledningsevne.

6. Basert på kinetisk gassteori kan en si at når den absolutte temperaturen i en gass doubles, så endres den gjennomsnittlige kinetiske energien for gassmolekylene med en faktor
- A) 16
 - B) 2
 - C) $\sqrt{2}$
 - D) 4
 - E) 0.5
7. Vi ønsker å øke effektiviteten for en ideell varmekraftmaskin fra 25% til 35%. Hvis temperaturen i det varme reservoaret opprinnelig er 650°C , hva må denne temperaturen endres til dersom vi vil beholde samme eksostemperatur?
- A) 1065°C
 - B) 750°C
 - C) 1019°C
 - D) 973°C
 - E) 792°C
8. Ett mol av en ideell gass gjennomgår en reversibel isoterm utvidelse fra et volum på 1 L til et volum på 2 L. Endringen i entropi for gassen, uttrykt ved den universelle gasskonstanten R , blir
- A) $R/2$
 - B) $2R$
 - C) $R \ln(2)$
 - D) $R \ln(1/2)$
 - E) Ingen av svarene ovenfor er korrekte
9. To punktladninger av ukjent størrelse og fortegn er plassert med innbyrdes avstand d . Den elektriske feltstyrken er null i et punkt på forbindelseslinjen mellom ladningene. Du kan da konkludere at
- A) Ladningene er like store i tallverdi, men har motsatt fortegn.
 - B) Ladningene er like store i tallverdi, og har samme fortegn.
 - C) Ladningene er ikke nødvendigvis like store i tallverdi, men har motsatt fortegn.
 - D) Ladningene er ikke nødvendigvis like store i tallverdi, men har samme fortegn.
 - E) Det er ikke gitt nok informasjon til å si noe spesielt om ladningene.

10.



En positivt ladet partikkel i bevegelse gir opphav til et magnetfelt omkring partikkelen. I det øyeblikk partikkelen passerer origo er magnetfeltet som måles i punktet P rettet langs den negative x-aksen. Dermed kan vi fastlå at partikkelen beveger seg

- A) i negativ z retning.
- B) i positiv y retning.
- C) i positiv x retning.
- D) i negativ y retning.
- E) i positiv z retning.

11.

En uendelig lang, rett leder har ladning pr. lengdeenhet på $\lambda (= q/l)$. Gauss's lov gjør det mulig å bestemme den elektriske feltstyrken for et punkt i avstand r fra lederen. Feltstyrken, uttrykt ved $k = (4\pi\epsilon_0)^{-1}$, er

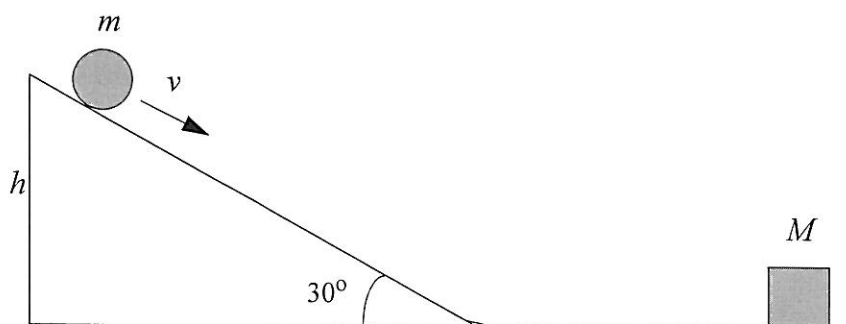
- A) $k\lambda/r^2$
- B) $k\lambda/r$
- C) $4\pi k\lambda/r$
- D) $2k\lambda/r$
- E) null

12.

Hvis arealet av en parallelplate-kondensator halveres og avstanden mellom kondensatorplatene tredobles, da endres kapasitansen med en faktor?

- A) øker med en factor 6
- B) avtar med en factor $2/3$
- C) avtar med en faktor $1/6$
- D) øker med en faktor $3/2$
- E) avtar med en faktor $1/2$

Oppgave 2



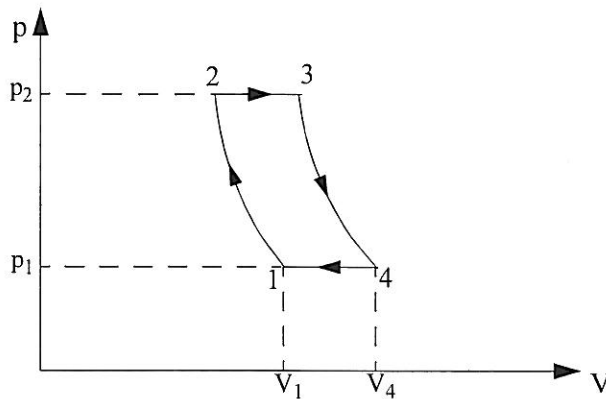
En kule med masse m og radius R ruller ned et skråplan med høyde h , som vist i figuren. Skråplanet danner en vinkel på 30° med horisontalplanet. Kula ruller uten å gli. Kula starter i ro på toppen av skråplanet. Vi antar at kula tar med hele sin kinetiske energi over til det horisontale planet. Kula støter etter hvert med en klosse med masse M som er i ro. Støtet antas å være fullstendig elastisk. Klossen roterer ikke etter støtet. Kula antas å rulle uten å gli også etter støtet.

- (a) Hva er forholdet mellom hastigheten til kulas tyngdepunkt og vinkelhastigheten til kula når den ruller ned skråplanet?
Hvilke krefter virker på kula når den ruller ned skråplanet?
I hvilke retninger virker disse kreftene? Forklar.
- (b) Finn et uttrykk for vinkelakselerasjonen til kula på skråplanet.
- (c) Hva blir den kinetiske energien til kula når den har rullet ned hele skråplanet?
Hva er hastigheten v til kula like før støtet?
- (d) Anta nå at massene m og M er like.
Hvilke størrelser er bevarte i støtet?
Finn et uttrykk for klossens hastighet V' uttrykt ved v umiddelbart etter støtet.

Oppgave 3

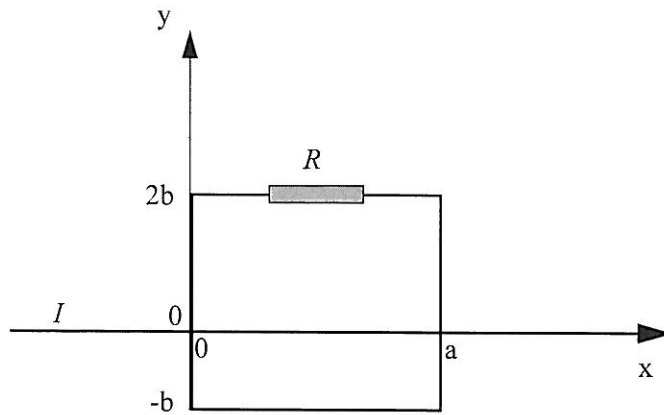
Ei varmekraftmaskin opereres i en reversibel syklus som vist i figuren og består av to adiabater og to isobarer. Arbeidsmediet er $n = 0,010$ mol ideell gass med $\gamma = 1,4$.

Oppgitt: $p_1 = 250$ kPa, $p_2 = 750$ kPa, $V_4 = 100$ cm³, $T_1 = 241$ K, $T_3 = 412$ K og $T_4 = 301$ K.



- Ut ifra oppgitt verdi γ , hva er C_V og C_p for arbeidsmediet, uttrykt ved nR ?
- Beregn volumet V_1 i tilstand 1.
Finn også temperaturen T_2 i tilstand 2.
- I hvilken prosesser opptas og avgis varme fra/til omgivelsene?
Hvor stor er den opptatte og den avgitte varmemengden?
- Tegn et varmestrømsdiagram som viser energi inn/ut av maskinen og inn/ut av varmereservoar, og finn varmekraftmaskinens virkningsgrad.

Oppgave 4



En strøm I går i positiv x -retning gjennom en isolert leder som sammenfaller med x -aksen. En rektangulær strømsløyfe med dimensjon $3b \cdot a$ og med motstand R er plassert som vist i figuren. Strømsløyfa og lederen er i samme plan uten at det er elektrisk kontakt mellom dem.

- Bruk Amperes lov til å beregne magnetfeltet fra den rette lederen.
Hvilken retning har magnetfeltet gjennom strømsløyfa for positiv og negativ y (over og under strømlederen)?
- Finn et uttrykk for den magnetiske fluksen gjennom strømsløyfa.
(Hint: benytt at fluksen i området $-b < y < 0$ har motsatt fortegn og samme tallverdi som fluksen i området $0 < y < b$).
- Anta nå at strømmen I varierer harmonisk med tiden: $I(t) = I_0 \sin \omega t$.
Hva blir den induserte strømmen I_R i motstanden R ?
- Gi en formulering av Lenz lov.
Hvordan varierer den induserte strømmen i strømsløyfa med tida? Forklar.

Vedlegg C: Formelliste

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

Fysiske konstanter:

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2 \quad N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \quad k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \quad R = N_A k_B = 8,31 \text{ J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$$

$$1 \text{ atm} = 101,3 \text{ kPa} \quad 0^\circ \text{C} = 273 \text{ K} \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{K}^{-4} \quad h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2 \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2 \quad e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

Elementær mekanikk:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}(\vec{r}, t) \quad \text{med } \vec{p}(\vec{r}, t) = m \vec{v} = m \dot{\vec{r}} \quad \vec{F} = m \vec{a} \quad \text{Konstant } a: \quad v = v_0 + at \quad s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} \quad \text{Kinetisk energi } W_k = \frac{1}{2} mv^2 \quad V(\vec{r}) = \text{potensiell energi (f.eks. tyngde: } mgh, \text{ fjær: } \frac{1}{2} kx^2)$$

$$F_x = -\frac{\partial}{\partial x} V(x, y, z) \quad E = \frac{1}{2} m \vec{v}^2 + V(\vec{r}) + \text{friksjonsarbeide} = \text{konstant}$$

$$|F_f| = \mu_s \cdot F_\perp \quad |F_f| = \mu_k \cdot F_\perp \quad \vec{F}_f = -k_f \vec{v}$$

$$\text{Dreiemoment } \vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \quad dW = |\vec{\tau}| d\alpha \quad \text{Statisk likevekt: } \sum \vec{F}_i = \vec{0} \quad \sum \vec{\tau}_i = \vec{0}$$

$$\text{Massefellespunkt: } \vec{R}_M = \frac{m_A}{M} \vec{r}_A + \frac{m_B}{M} \vec{r}_B \quad \text{Relativ koordinat: } \vec{r} = \vec{r}_A - \vec{r}_B$$

$$\text{Elastisk støt: } \vec{p} = \text{konstant} \quad W_k = \text{konstant} \quad \text{Uelastisk støt: } \vec{p} = \text{konstant}$$

$$\text{Vinkelhastighet } \vec{\omega} = \omega \hat{e}_z \quad |\vec{\omega}| = \omega = \dot{\theta} \quad \text{Vinkelakselerasjon } \vec{\alpha} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \quad \alpha = \frac{d\omega}{dt} = \ddot{\theta}$$

$$v = r\omega \quad \text{Sentripetalaksel. } a_r = -v\omega = -\frac{v^2}{r} = -\omega^2 r \quad \text{Baneaksel. } a_\theta = \frac{dv}{dt} = r \frac{d\omega}{dt} = r\alpha$$

$$\text{Kinetisk energi } W_k = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad \text{der tregghetsmoment } I = \sum_i m_i r_i^2 \rightarrow \int r^2 dm$$

$$\text{Massiv kule: } I_T = \frac{2}{5} MR^2 \quad \text{Ring: } I_T = MR^2 \quad \text{Sylinder/skive: } I_T = \frac{1}{2} MR^2 \quad \text{Kuleskall: } I_T = \frac{2}{3} MR^2$$

$$\text{Lang, tynn stav: } I_T = \frac{1}{12} M\ell^2 \quad \text{Parallellaksesteoremet: } I = I_T + MR_T^2$$

$$\text{Dreieimpuls (rotasjonsmengde) } \vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} \quad \vec{\tau} = \frac{d}{dt} \vec{L} \quad \text{Stive legemer: } \vec{L} = I \cdot \vec{\omega} \quad \vec{\tau} = I \cdot \frac{d\vec{\omega}}{dt}$$

$$\text{Hookes lov: } F = -kx \quad T = \frac{F}{A} = E\epsilon = E \frac{\Delta\ell}{\ell} \quad T = \mu\gamma = \mu \frac{\Delta x}{y} \quad \Delta p = -B \frac{\Delta V}{V} \quad \tau = \frac{\pi}{32} \mu \frac{D^4}{\ell} \theta$$

$$\text{Skjærspenning og viskositet: } T = \frac{F}{A} = \eta \frac{v}{b}$$

Svingninger og bølger:

$$\text{Udempet svingning: } \ddot{x} + \omega_0^2 x = 0 \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad T = \frac{2\pi}{\omega_0} \quad f_0 = \frac{1}{T} = \frac{\omega_0}{2\pi}$$

$$\ddot{\theta} + \omega_0^2 \sin \theta = 0 \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{mgd}{I}} \quad \text{eller } \omega_0 = \sqrt{\frac{g}{\ell}}$$

$$\text{Dempet svingning: } \ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0 \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \delta = \frac{1}{2} \frac{b}{m}$$

$$\delta < \omega_0 \text{ Underkritisk dempet: } x(t) = A e^{-\delta t} \cos(\omega_d t + \theta_0) \quad \omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$$

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

$$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 x = a_0 \cos \omega t \quad \text{når } t \text{ er stor: } x(t) = x_0 \cos(\omega t + \phi), \text{ der } x_0(\omega) = \frac{a_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\delta^2 \omega^2}}$$

$$\text{Bølger: } \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - v^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0 \quad y(x, t) = f(x \pm vt) \quad y(x, t) = y_0 \cos(kx) \cos(\omega t) \quad y(x, t) = y_0 \cos(kx \pm \omega t)$$

$$v = \pm \frac{\omega}{k} \quad |v| = \frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \quad v_g = \frac{\partial \omega}{\partial k} \quad \text{Streng: } v = \sqrt{\frac{T}{\rho}} = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad \text{hvor } T = \frac{F}{A} \quad \text{og } \mu = \rho A = \frac{\Delta m}{\Delta \ell}$$

$$\text{Lydbølger: } \xi(x, t) = \xi_0 \cos(kx \pm \omega t) \quad p_{\text{lyd}} = kv^2 \rho \xi_0 \quad \text{Luft: } v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma k_B T}{m}} \quad \text{Fast stoff: } v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

$$P = \frac{1}{2} \mu v \omega^2 y_0^2 \quad I = \frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho v \omega^2 \xi_0^2 \quad I = \frac{1}{2} \frac{p_{\text{lyd}}^2}{\rho v} = \frac{1}{2} \frac{p_{\text{lyd}}^2}{\sqrt{\rho B}}$$

$$\beta(\text{i dB}) = 10 \log_{10} \frac{I}{I_{\text{min}}} \quad \text{der } I_{\text{min}} = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

$$\text{Dopplereffekt: } \frac{\omega_s}{\omega_M} = \frac{f_s}{f_M} = \frac{1 - v_s/v_B}{1 - v_M/v_B} \quad \frac{f_s}{f_M} = \sqrt{\frac{1 - v/c}{1 + v/c}}$$

$$\text{Stående bølger: } y(t) = \frac{1}{2} y_0 \cos[kx + \omega t] + \frac{1}{2} y_0 \cos[kx - \omega t] \quad L = n \frac{\lambda}{2} \quad f_n = n \frac{v}{2L}$$

Termisk fysikk:

$$n_M \text{ (iblant også } n) = \text{antall mol} \quad N = \text{antall molekyler} \quad n = N/V \quad n_f = \text{antall frihetsgrader}$$

$$\alpha = \frac{1}{\ell} \frac{d\ell}{dT} \quad \Delta U = Q - W \quad C = \frac{Q}{\Delta T} = mc = n_M c' = N c_m$$

$$\text{Varmetransport: } j_Q = \frac{d\Phi}{dA} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad j = \sigma T^4 \quad j = e \sigma T^4 \quad j_\nu(\nu, T) = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/k_B T} - 1}$$

$$pV = n_M R T \quad pV = N \frac{2}{3} E \quad E = \frac{1}{2} m \overline{v^2} \quad \text{van der Waals: } \left(p + \frac{a}{v_M^2}\right)(v_M - b) = RT$$

$$c'_V = \frac{1}{2} n_f R \quad c'_p = \frac{1}{2} (n_f + 2) R = c'_V + R \quad \Delta W = p \Delta V \quad W = \int_1^2 p dV \quad dU = C_V \cdot dT$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{n_f + 2}{n_f} \quad pV^\gamma = \text{konstant} \quad TV^{\gamma-1} = \text{konstant} \quad p^{1-\gamma} T^\gamma = \text{konstant} \quad v_{\text{lyd}} = \sqrt{\frac{\gamma k_B T}{m}}$$

$$\text{Molekylære kollisjoner: } \sigma = \pi d^2 \quad \ell_0 = \frac{1}{n\sigma} \quad \tau = \frac{1}{nv\sigma}$$

$$\text{Effektivitet (virkningsgrad/kjølefaktor): } e = \frac{W}{Q_H} \xrightarrow{\text{Carnot}} 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad \text{Otto: } e = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$$

$$K = \left| \frac{Q_L}{W} \right| \xrightarrow{\text{Carnot}} \frac{T_L}{T_H - T_L} \quad \epsilon = \left| \frac{Q_H}{W} \right| \xrightarrow{\text{Carnot}} \frac{T_H}{T_H - T_L} \quad \text{Clausius: } \sum \frac{\Delta Q}{T} \leq 0 \quad \oint \frac{dQ}{T} \leq 0$$

$$\text{Entropi: } dS = \frac{dQ_{\text{rev}}}{T} \quad \Delta S_{12} = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ_{\text{rev}}}{T} \quad S = k_B \ln w$$

Elektrisitet og magnetisme:

Coulombs lov: $\vec{F}(r) = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r}$ Coulomb potensialet: $V(r) = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r}$

Gauss lov: $Q = \sum q_i = \epsilon_0 \Phi_E = \epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{A}$

Kapasitans: $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$ $W = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} Q^2 / C$ $\frac{W}{V} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$

Kraft på strømleder: $\vec{F} = I \vec{l} \times \vec{B}$ Lorentzkraften: $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

Kraft mellom to ledere: $F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2 l}{r}$ Biot-Savarts lov: $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I_2 \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$

Amperes lov: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I$ Magnetisk fluks: $\Phi_B = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$

Faradays induksjonslov: $V_{\text{ind}} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ Selvinduksjon: $V_{\text{ind}} = -L \frac{dI}{dt}$ $\frac{W}{V} = \frac{B^2}{2\mu_0}$

Maxwells ligninger: $\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ $\nabla \times \vec{B} = \mu_0 [\vec{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}]$ $\epsilon_0 \nabla \cdot \vec{E} = \rho$ $\nabla \cdot \vec{B} = 0$

RC-krets: $\frac{dQ}{dt} + \frac{1}{RC} Q = 0$ $Q = Q_0 \exp\{-t/(RC)\}$ $I = -\frac{dQ}{dt} = \frac{Q_0}{RC} \exp\{t/(RC)\}$

RL-krets: $\frac{dI}{dt} + \frac{R}{L} I = \frac{V}{L}$ $I = \frac{V}{R} \left(1 - \exp\{-\frac{R}{L} t\}\right)$

LC-krets: $\frac{d^2 Q}{dt^2} + \frac{1}{LC} Q = 0$ $Q = A \cos(\omega t - \psi)$ $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$

RLC-krets: $\frac{d^2 Q}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dQ}{dt} + \frac{1}{LC} Q = 0$ $Q = A \exp\{-\frac{R}{L} t\} \cos(\omega t - \psi)$
