



NTNU

Fakultet for Naturvitenskap og Teknologi

Institutt for Fysikk

Eksamen - TFY 4104 Fysikk. Des 17, 2011

Faglærer: Professor Mikael Lindgren (73593414/41466510)

Tillatte hjelpemiddel alternativ C

Tillatte formelsamlinger:

Rottman: *Matematisk formelsamling*/ Schaums Outline series: *Mathematical Handbook of Formulas and Tables*.

NTNU godkjent kalkulator

Innhold:

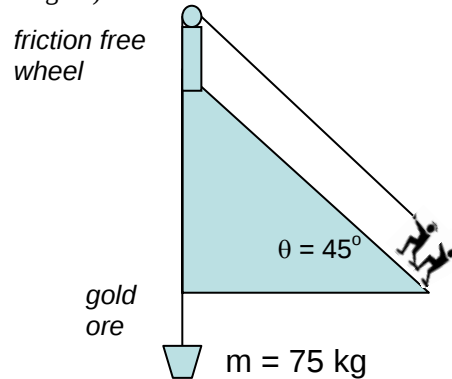
4 oppgaver i 3 språk-versjoner: English (2 p)/Bokmål (2 s)/Nynorsk (2s)

Vedlegg: 3 sider nyttige formler, kun på engelsk

Poeng for hver oppgave er indikert med parentes (X p)

Problem 1 (28 p)

Two men (80 kg each) are using an inclined wood construction to winch up 75 kg of gold ore from a mine. It is very slippery due to rain, resulting in a friction coefficient (both static and kinetic) of 0.1. Suddenly one man (the one behind the other) loses his grip. The other does not want to let go of the gold ore and therefore hangs on, resulting in him sliding upwards (see figure).



- a) What is the tension (force) in the rope while he is sliding?
 b) What is the speed of the bucket with ore after the man has slid 5 m.

Problem 2 (30 p)

- a) 1 mol of an ideal gas is heated under a constant pressure of 1 atm, from an initial temperature of 20°C to a final temperature of 100°C. The gas has a heat capacity $C_V = \frac{5}{2}nR$ at constant volume.

-What is the volume of the gas before heating?

-How much heat is needed to heat the gas, and how much work will the gas do *on its surroundings*?

$R=8.314 \text{ J/(mol K)}=0.08206 \text{ L atm/(mol K)}$; 1 atm =101.3 kPa

- b) A vertical cylinder is divided in two by a moveable piston with mass m . The piston is initially held at rest. The top part of the cylinder is evacuated (vacuum with $P=0$), while the bottom part is filled with 1 mol of a diatomic ideal gas at a temperature of 300K. The heat capacity of the gas at constant volume is $C_V = \frac{5}{2}nR$. The piston is

then released, and when the system settles in a new equilibrium state, where the volume occupied by the gas is halved. The system is isolated, such that no heat can be transferred to the surroundings.

-What is such a process called?

-What is the final temperature of the gas?

-How much work is performed *on the gas* in the process?

$R=8.314 \text{ J/(mol K)}=0.08206 \text{ L atm/(mol K)}$

- c) A steam engine works between a hot and a cold heat reservoir. The hot reservoir has a temperature of 300°C, while the cold reservoir has a temperature of 0°C. During one cycle, 200 J of heat is absorbed from the hot reservoir, and 150 J of heat is released to the cold reservoir.

-How much work does the engine perform during one cycle?

-What is the efficiency of the engine?

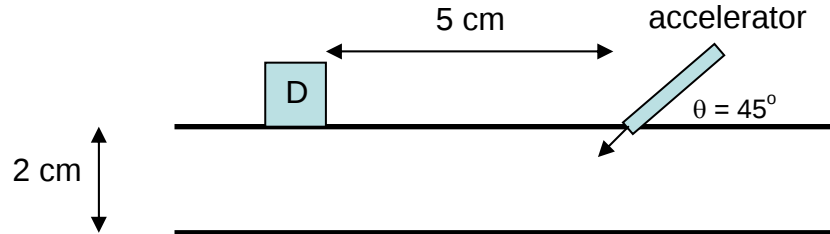
-For one cycle, how much work is lost, compared to the work that would be performed by an ideal heat engine with maximal efficiency?

-What is the change in entropy for one cycle: for the heat engine (ΔS_{system}), for the surroundings of the engine ($\Delta S_{\text{omgivelse}}$), and for the universe (ΔS_u). What would ΔS_u have been for a heat engine with maximal efficiency?

Examination: TFY4104 Physics – English

Problem 3 (22 p)

An electric field of 4 kN/C between two horizontal metal plates, is used to separate charged particles exiting an accelerator. Electrons are detected 5 cm to the left (at 'D') of the accelerator (at the same side as the exit of the accelerator, see figure).

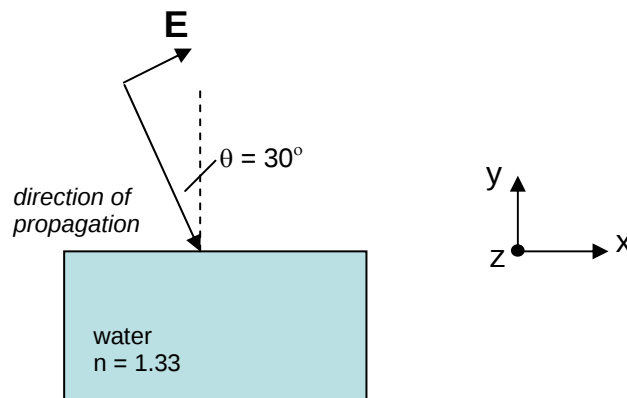


- What is the direction of the electric field?
- What is the kinetic energy of the electrons exiting the accelerator?

The elementary charge is $1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; Electron mass is $9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$. Neglect effects of gravity.

Problem 4 (20 p)

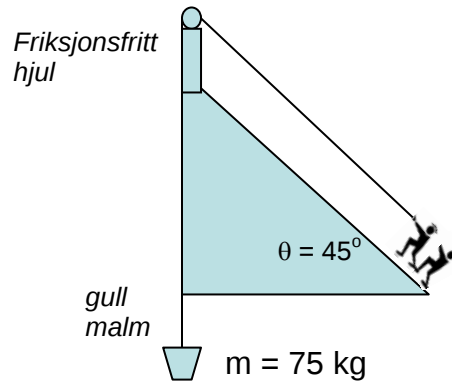
An electromagnetic wave of wavelength 532 nm (green light) hits a water surface at 30° angle of incidence (see figure).



- When the electric field **E**-component is pointing as indicated, what is the direction of the magnetic **B**-field?
- What is the direction of propagation of the electromagnetic wave after passing the water surface?

Oppgave 1 (28 p)

To menn (hver med en masse på 80 kg) bruker en skrå trekonstruksjon til å hale opp gullmalm (masse lik 75 kg) fra en gruve. Treverket er svært glatt på grunn av regn, og har en friksjonskoeffisient lik 0.1 (både statisk og kinetisk). Pluttselig mister den bakerste mannen grepet. Den andre mannen vil ikke miste malmen, så han henger på og sklir oppover langs trekonstruksjonen (se figur under).



a) Hva er draget (kraften) i tauet mens mannen glir oppover?

b) Hva er farten til malmbøtta etter at mannen har glidd 5 m?

Oppgave 2 (30 p)

a) 1 mol ideell gass varmes under et konstant trykk på 1 atm, fra en temperatur på 20°C til en temperatur på 100°C. Gassen har en varmekapasitet $C_V = \frac{5}{2}nR$ under konstant volum.

-Hva er volumet til gassen før den varmes opp?

-Hvor mye varme må tilføres, og hvor stort arbeid gjør gassen på omgivelsene?

Oppgitt: $R=8.314 \text{ J/(mol K)}=0.08206 \text{ L atm/(mol K)}$; $1 \text{ atm}=101.3 \text{ kPa}$

b) En vertikal sylinder er delt i to av et bevegelig stempel med masse m . Stempelet blir først holdt fast. Den øvre delen av sylindren pumpes tom for luft (vakuum med $P=0$), mens den nedre delen fylles med 1 mol av en

toatomig ideell gass med en temperatur på 300K, og varmekapasitet ved konstant volum lik $C_V = \frac{5}{2}nR$.

Stempelet slippes så, og når systemet har kommet til likevekt igjen har det nedre volumet som er fylt med gass blitt halvert. Systemet er isolert, slik at gassen ikke kan overføre varme til omgivelsene.

-Hva kalles en slik prosess?

-Hva blir den endelige temperaturen til gassen?

-Hvor stort arbeid blir utført på gassen under prosessen?

Oppgitt: $R=8.314 \text{ J/(mol K)}=0.08206 \text{ L atm/(mol K)}$

c) En dampmaskin virker mellom et varmt varmereservoar på 300°C og et kaldt varmereservoar på 0°C. I løpet av en syklus blir 200 J absorbert fra det varme reservoaret, og 150 J blir avgitt til det kalde reservoaret.

-Hvor mye arbeid blir utført i løpet av en syklus?

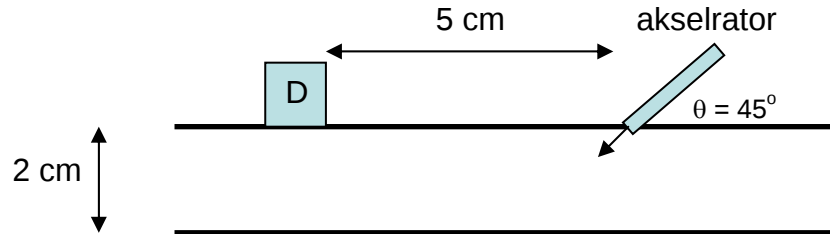
-Hva er effektiviteten/virkningsgraden til varmepumpen?

-Hvor mye arbeid går tapt i løpet av en syklus, i forhold til en ideell varmepumpe med maksimal effektivitet?

-Finn endringene i entropi i løpet av en syklus for: dampmaskina (ΔS_{system}), omgivelsene ($\Delta S_{\text{omgivelser}}$) og universet (ΔS_u). Hva ville ΔS_u vært for en maksimalt effektiv varmepumpe?

Oppgave 3 (22 p)

Et elektrisk felt på 4 kN/C mellom to horisontale metallplater blir brukt til å separere ladde partikler som kommer ut av en akselrator. Elektroner blir detektert av en detektor (ved D), 5 cm til venstre for akselratorutgangen (se figur).

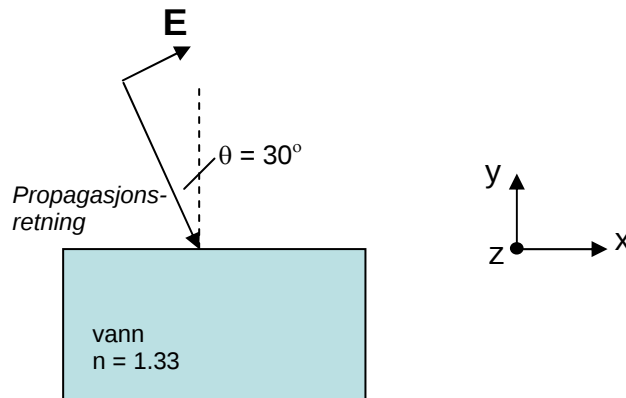


- Hva er retningen til det elektriske feltet?
- Hva er den kinetiske energien til de detekterte elektronene?

Den elementære ladningen er $1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; Elektron massen er lik $9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$. Se bort fra gravitasjonen.

Oppgave 4 (20 p)

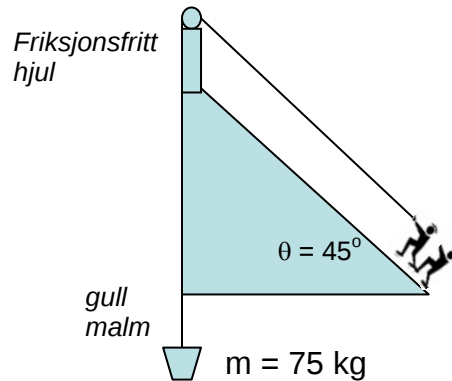
En elektromagnetisk bølge med bølgelengde lik 532 nm (grønt lys) treffer en vannoverflate med en innfallsvinkel på 30°



- Når det elektriske feltet har en retning som indikert på figuren, i hvilken retning vil det magnetiske feltet peke?
- Hva blir propagasjonsretningen til den elektromagnetiske bølgen etter at den har passert vannoverflata?

Oppgåve 1 (28 p)

To karar (som kvar veg 80 kg) brukar ein skrå trekonstruksjon til å hale opp gullmalm (masse lik 75 kg) frå ei gruve. Treverket er svært glatt på grunn av regn, og har ein friksjonskoeffisient på 0.1 (både statisk og kinetisk). Pluttselig mister den bakerste karen grepet. Den andre mannen vil ikkje miste malmen, så han henger på og sklir oppover langs trekonstruksjonen (sjå figur under).



a) Kva er draget (krafta) i tauet mens mannen glir oppover?

b) Kva er farta til malmbøtta etter at mannen har glidd 5 m?

Oppgåve 2

a) 1 mol ideell gass varmes under eit konstant trykk på 1 atm, frå ein temperatur på 20°C til ein temperatur på 100°C. Gassen har ein varmekapasitet $C_V = \frac{5}{2}nR$ under konstant volum.

-Kva er volumet til gassen før den varmes opp?

-Kor mykje varme må tilførast, og kor stort arbeid gjer gassen på omgivnadane?

Oppgitt: $R=8.314 \text{ J/(mol K)}=0.08206 \text{ L atm/(mol K)}$; $1 \text{ atm}=101.3 \text{ kPa}$

b) Ein vertikal sylinder er delt i to av eit bevegeleg stempel med masse m . Stempelet blir først holdt fast. Den øvre delen av sylindern pumpas tom for luft (vakuum med $P=0$), mens den nedre delen fylles med 1 mol av ein toatomig ideell gass med ein temperatur på 300K, og varmekapasitet ved konstant volum lik $C_V = \frac{5}{2}nR$.

Stempelet slippes så, og når systemet har kommet til likevekt igjen har det nedre volumet som er fylt med gass blitt halvert. Systemet er isolert, slik at gassen ikkje kan overføre varme til omgivnadane.

-Kva kallast ein slik prosess?

-Kva blir den endelege temperaturen til gassen?

-Kor stort arbeid blir utført på gassen under prosessen?

Oppgitt: $R=8.314 \text{ J/(mol K)}=0.08206 \text{ L atm/(mol K)}$

c) Ei dampmaskin virker mellom eit varmt varmereservoar på 300°C og eit kaldt varmereservoar på 0°C. I løpet av ein syklus blir 200 J absorbert frå det varme reservoaret, og 150 J blir overført til det kalde reservoaret.

-Kor stort arbeid blir utført i løpet av ein syklus?

-Kva er effektiviteten/virkningsgrada til varmemaskina?

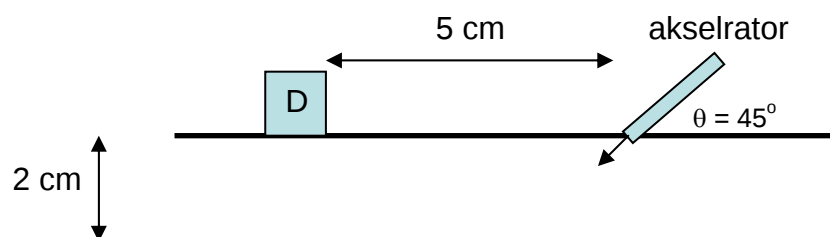
-Kor mykje arbeid går tapt i løpet av ein syklus, i forhold til ei ideell varmemaskin med maksimal effektivitet?

-Finn endringane i entropi i løpet av ein syklus for: dampmaskina (ΔS_{system}), omgivnadane ($\Delta S_{\text{omgivelser}}$) og universet (ΔS_u). Kva ville ΔS_u vore for ei maksimalt effektiv varmemaskin?

Eksamen: TFY4104 – Nynorsk

Oppgåve 3 (22 p)

Eit elektrisk felt på 4 kN/C mellom to horisontale metallplater blir brukt til å separere ladde partiklar som kjem ut av ein akselrator. Elektroner blir detektert av ein detektor 5 cm til venstre for akselratorutgangen (som vist på figur under).

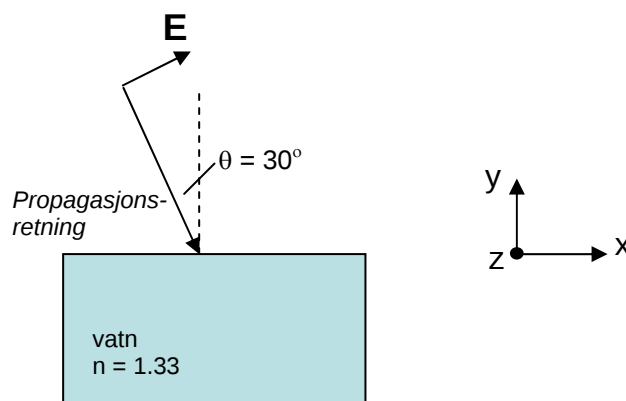


- Kva er retninga til det elektriske feltet?
- Kva er den kinetiske enegien til dei detekterte elektrona?

Den elementære ladninga er $1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; Elektron massen er lik $9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$. Sjå vekk frå gravitasjon.

Oppgåve 4 (20 p)

Ei elektromagnetisk bølge med bølgelengde lik 532 nm (grønt lys) treffer ei vassoverflate med ein innfallsvinkel på 30°



- Når det elektriske feltet har ei retning som indikert på figuren, i kva for retning vil det magnetiske feltet peike?
- Kva blir propagasjonsretninga til den elektromagnetiske bølga etter at den har passert vassoverflata?

USEFUL FORMULA – TFY4104

Kinematic equations:

velocity: $\bar{v}(t) = \frac{d}{dt} \bar{x}(t)$; acceleration: $\bar{a}(t) = \frac{d}{dt} \bar{v}(t)$

centripetal acceleration: $a_c = \frac{v^2}{r}$; tangential acceleration: $a_t = \frac{dv_t}{dt}$

for constant acceleration

$v_{ave} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$; $a_{ave} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ average velocity and acceleration.

$v - v_0 = a \cdot t$; $x - x_0 = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$

Forces and gravitation:

Newtons 2nd law: $\bar{F}_{net} = m \cdot \bar{a}$, where $\bar{F}_{net} = \sum \bar{F}$

Gravitational force: $\bar{F} = m \cdot \bar{g}$, where $g = 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$

Hooke's law: $F = -k \cdot x$;

Friction: $f \leq \mu \cdot F_n$, where F_n is the normal force

Work and energy:

Work: $W = \int_1^2 \bar{F} \cdot d\bar{l}$; Kinetic energy: $K = \frac{m \cdot v^2}{2}$

Potential energy: $\Delta U = U_2 - U_1 = -W = -\int_1^2 \bar{F} \cdot d\bar{l}$

For a conservative force: $F_x = -\frac{dU}{dx}$

Elastic (spring) potential energy: $U = \frac{1}{2} k \cdot x^2$;

Gravitational: $U = U_0 + m \cdot g \cdot h$

Momentum and rotation:

Impulse: $I = \int_{t_1}^{t_2} \bar{F} dt$; Linear momentum: $\bar{p} = m\bar{v}$

Angular velocity and acceleration: $\omega = \frac{d\theta}{dt}$; $\alpha = \frac{d\omega}{dt}$

Moment of inertia, particles and objects: $I = \sum_i m_i r_i^2$; $I = \int r^2 dm$

Torque: $\tau = F_t \cdot r$; $\tau_{net, ext} = I \cdot \alpha$ (for an object with moment of inertia)

Electrostatics and magnetostatics

Coulomb's laws: $\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}; \quad \vec{E} = \vec{F} / q_0; \quad \vec{E} = \int d\vec{E} = \int \frac{k \cdot \hat{r}}{r^2} dq$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.99 \cdot 10^9 [Nm^2 / C^2]; \quad dq = \rho dV; \quad dq = \sigma dA; \quad dq = \lambda dL$$

Electric flux: $\phi = \int_S \vec{E} \cdot \hat{n} \cdot dA$ Gauss's law: $\phi_{net} = \oint_S \vec{E} \cdot \hat{n} \cdot dA = \oint_S E_n \cdot dA = \frac{Q_{inside}}{\epsilon_0}$

Potential difference: $dV = \frac{dU}{q_0} = -\vec{E} \cdot d\vec{l}; \quad \vec{E} = -\vec{\nabla}V$ Coulomb potential: $V = \frac{kq}{r}$

Magnetic force, moving charge: $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}),$ current element: $d\vec{F} = I(d\vec{l} \times \vec{B})$

Magnetic field, moving charge: $\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q(\vec{v} \times \hat{r})}{r^2}; \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} [Tm / A]$

Biot-Savart's law: $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I(d\vec{l} \times \hat{r})}{r^2}$ Magnetic torque: $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$

Gauss's law magnetism: $\phi_{m,net} = \oint_S \vec{B} \cdot \hat{n} \cdot dA = \oint_S B_n \cdot dA = 0;$ Ampère's law: $\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_C$

Electrodynamics and optics

Maxwell's eqs for air/vacuum: $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0; \quad \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0; \quad \vec{\nabla} \times \vec{B} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

Speed of light, in vac: $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3.0 \cdot 10^8 \left[\frac{m}{s} \right];$ in material: $v = \frac{c}{n}$ (n , refractive index)

Wave eq. for transversal EM wave propagating along x: $\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}; \quad \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$

Law of refraction: $n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2$

Thin lens eq: $\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f};$ Magnification, $m = -\frac{s'}{s}$

Diffraction of single slit: $a \cdot \sin \theta_m = m \cdot \lambda$

Volume elements for integration:

$$dV = dx dy dz$$

$$dV = r^2 dr \sin \theta d\theta d\varphi \rightarrow 4\pi r^2 dr \text{ (spherical symmetry)}$$

$$dV = r dr d\theta dz \rightarrow 2\pi r dr l \text{ (cylindrical symmetry)}$$

Thermodynamics

First law of thermodynamics: $\Delta E_{int} = Q_{in} + W_{on}$

Ideal gas law: $PV = nRT$

Absolute temperature: $T = t_c + 273.15 \text{ K}$

Kinetic energy: $K_{trans} = N \left(\frac{1}{2} m v^2 \right)_{av} = \frac{3}{2} N k T = \frac{3}{2} n R T$

Heat capacity:

$$Q_V = C_V \Delta T$$

$$Q_P = C_P \Delta T$$

$$dE_{int} = C_V dT$$

Ideal gas: $C_P - C_V = nR$

Monoatomic: $C_V = \frac{3}{2} nR$

Diatomic: $C_V = \frac{5}{2} nR$

Quasi-static adiabatic process (ideal gas):

$$TV^{\gamma-1} = \text{constant}$$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

$$PV^\gamma = \text{constant}$$

$$\frac{T^\gamma}{P^{\gamma-1}} = \text{constant}$$

Carnot efficiency: $\epsilon_C = 1 - \frac{T_c}{T_h}$

Entropy: $\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ_{rev}}{T}$

Thermal expansion: $\alpha = \frac{\Delta L / L}{\Delta T};$

$$\beta = \frac{\Delta V / V}{\Delta T} = 3\alpha$$

Heat conduction: $I = \frac{dQ}{dt} = -kA \frac{dT}{dx}$

Thermal radiation: $P_{net} = e A T^4 - T_0^4;$

$$\lambda_{max} = \frac{2.898 \text{ mm K}}{T}$$