

1. VORDIPLOMPRÜFUNG 2001

Blatt 1	Studiengang: Maschinenbau Jahr: 2001 ExpertInnen: R. Bachmann
---------	---

Klassen: MB1a Lehrer: Fuh	Datum: 19.9.2001 Zeit: 8:00 – 11:00
------------------------------	--

SCHRIFTLICHE PRÜFUNG IN PHYSIK

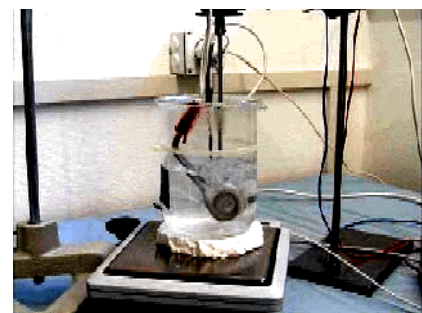
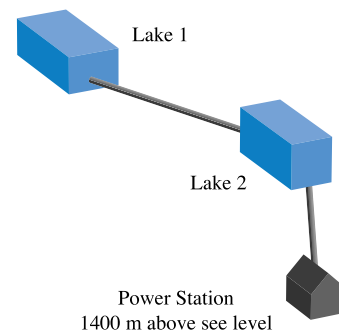
ERLAUBTE HILFSMITTEL: Alle Materialien (Zusammenfassung, Bücher, etc.) ausser Aufgabensammlungen

1. Within a relatively short time, the water levels in two communicating reservoirs change (see picture). During this period, it does not rain nor do the reservoirs receive water through the streams which normally feed them. The second reservoir has a drain channel to the power plant in the valley.

The first reservoir's surface measures 2.0 km^2 . That of the second reservoir is 1.0 km^2 . Treat the reservoirs as straight walled containers. Take the value of 10 N/kg for the gravitational field strength.

During the period of observation, the level of the first reservoir changes from 1900 meters above sea level to 1902 meters above sea level. The level in reservoir number two changes from 1910 to 1903 meters above sea level.

- a. How large is the change of volume of the two reservoirs (individually)?
 - b. How much water has flowed through the pipe which connects the two reservoirs?
 - c. How much water has flowed to the power plant?
 - d. How much energy has been transferred to the power plant?
2. In an open glass which stands upon a scale, water is heated and then evaporated. Water temperature and mass are measured as a function of time (see diagram). The immersion heater turns off at $t = 1600 \text{ s}$.



Verteiler

Kandidaten:
Spätestens bis Prüfungsbeginn:

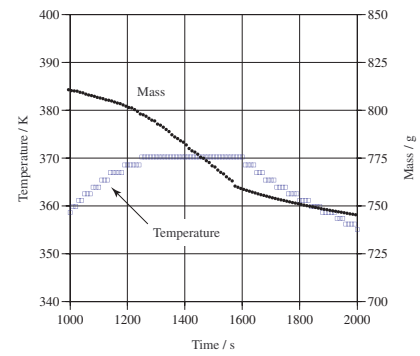
nach Schluss der Prüfung an Dozierende zurück
je ein Exemplar pro Abteilung z.H. Archiv
je ein Exemplar z.H. der beteiligten ExpertInnen

In the following, consider the time $t = 1400$ s.

- What is the immersion heater's rate of entropy production at this point?
- What is the mass flow of the steam?
- What is the flow of entropy through the walls of the container? (The bottom is well insulated.)
- Determine the specific entropy of evaporation from the experimental data.

Data: Environmental temperature: 20°C , surface area of the wall of the container: $3.58 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$; Entropy transfer coefficient through the wall (from water to the air): $0.039 \text{ W/K}^2\text{m}^2$; electrical power of the immersion heater: 304 W .

The enlargement of the diagram is on another piece of paper.

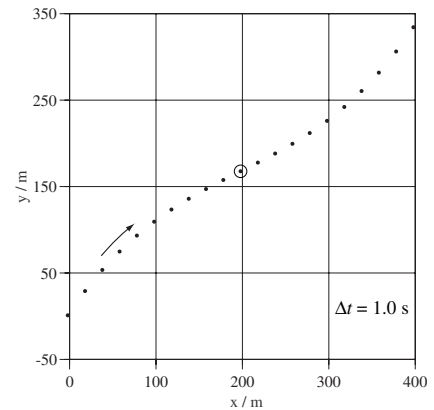


- A car drives along a horizontal street. Its position from above is shown in the graph in time steps of one second.

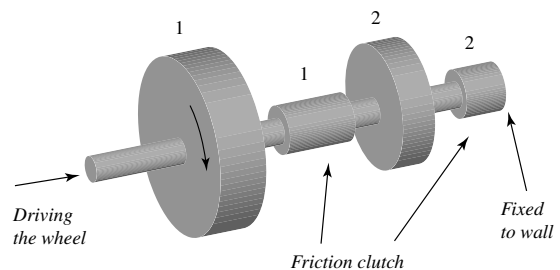
Consider the point at which the car has an x -coordinate of 200 m.

- What is the car's velocity (magnitude and direction) at the point chosen?
- What is the car's acceleration (magnitude and direction) at this point?
- What must the minimum static friction coefficient be between the tires and the street's surface at this point?

Data: Car's mass 500 kg ; coefficient of air resistance: 0.80 ; air density: 1.2 kg/m^3 ; frontal cross section of the car: 3.0 m^2 ; strength of the gravitational field: 10 N/kg . The diagram, in enlarged form, is on another page.



- Two fly wheels are mounted upon a common axis. Between the wheels are friction clutches whose torque behaves *analogously to Ohm's law*. The first wheel is driven from the left with a *constant* torque. The initial angular velocities and all necessary parameters are known.

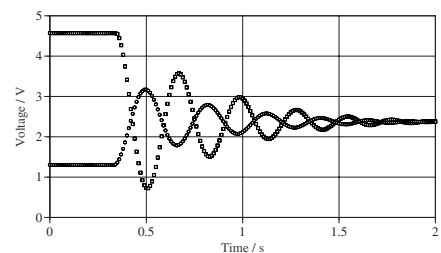
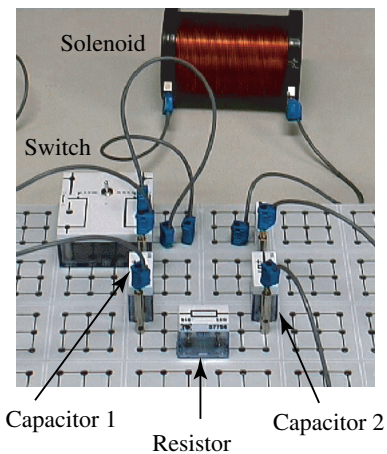


- a. Sketch the angular velocities qualitatively as a function of time using the following data (all in SI units): $\omega_{1,0} = 100$, $\omega_{2,0} = 200$, $J_1 = 2$, $J_2 = 1$, clutch resistances: 1. Assume that the wheel on the left is *not* being driven.
 - b. Sketch a system dynamics diagram for a model with which one can calculate the angular velocity of the two wheels as a function of time.
 - c. Formulate mathematically the laws of balance for the angular momentum of the two wheels (in the form of equations).
 - d. Formulate the equations for all angular momentum flows which occur.
5. A Scout X1 rocket of NASA with a total mass of 16 tons stands upon the launch pad. After ignition, 220 kg gas per second flows out of the engine at a speed of 2100 m/s.
- Information: Disregard air resistance and take a value of 10 N/kg for the strength of the gravitational field.
- a. Write the law of balance of momentum for the rocket as a system. Why is the rate of change of momentum *not* equal to the mass times acceleration?
 - b. What is the rocket's acceleration right at the beginning? What is the acceleration after 40 seconds of engine firing?
 - c. What speed does the rocket reach after the 40 seconds of firing of the engines?

6. A solenoid made of thin wire is connected to a circuit with two initially charged capacitors. The solenoid has an electrical resistance of 200Ω . Additionally, there is a resistor in the circuit with a resistance of 320Ω . All four elements are in the same single loop.

A measurement of the oscillation after closing the electrical circuit at approximately 0.4 s is given in the diagram (see below for an enlargement of the graphic).

- a. Draw the abstract representation of the electrical circuit with capacitors, pure inductive element, and only one resistor. What is the resistance of the resistor?
- b. The larger capacitor's capacitance is $60 \mu\text{F}$. Which of the two measured curves belongs to this?
- c. What is the capacitance of the second capacitor?
- d. What is the electric current at the point where the two curves intersect for the second time?
- e. What is the inductive voltage at this point? (Hint: It is *not* the voltage across the solenoid, but across the abstract inductive element!)



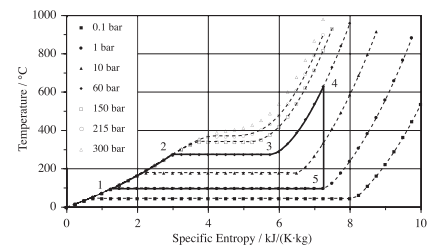
7. A pail of water hangs from a rope wound around a winch. This apparatus is above a well which is 10 m deep. One lets the crank of the winch go, and the pail plunges downwards. How long does it take until it hits bottom?

Data: Mass of the pail of water: 10 kg; mass of the winch: 20 kg; radius of the winch: 6.0 cm.

Further information: Disregard the effects of the crank, air resistance, and friction. Consider the rope as having no mass. Assume a value of 10 N/kg for the strength of the gravitational field.



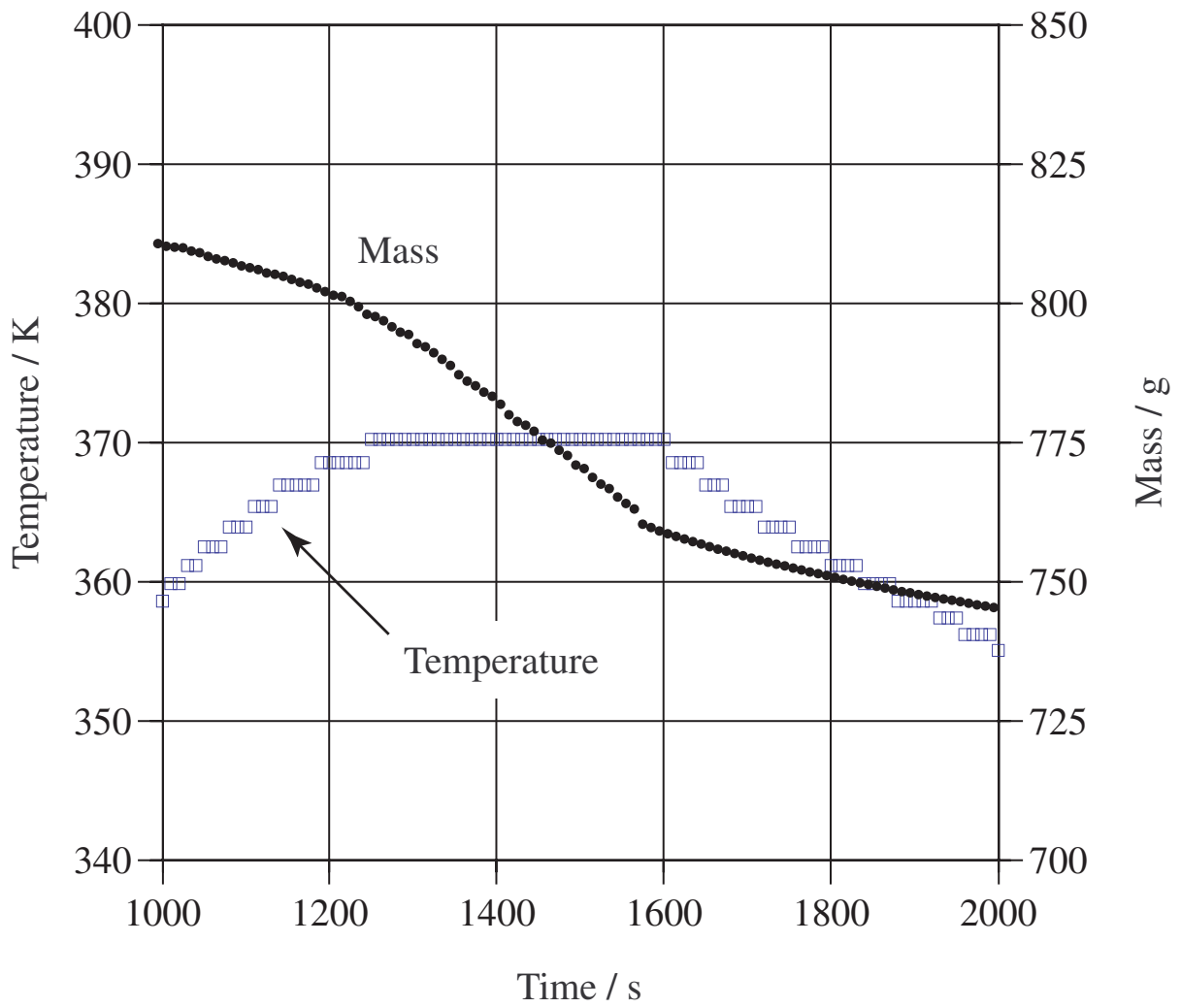
8. The Rankine-Process is a model for the processes undergone by the working fluid (water and steam) in a power plant with a steam turbine (solid line in the diagram). From 1 to 2, the water is warmed by heating. At the same time, the pressure is raised to 60 bar. Further heating leads to total evaporation (2 to 3). Then, at constant pressure, the steam is further heated (3 to 4). Between 4 and 5, the steam is expanded isentropically in the turbine (the pressure here reduces to 1 bar. Then the steam is condensed in a cooler (5 until 1).

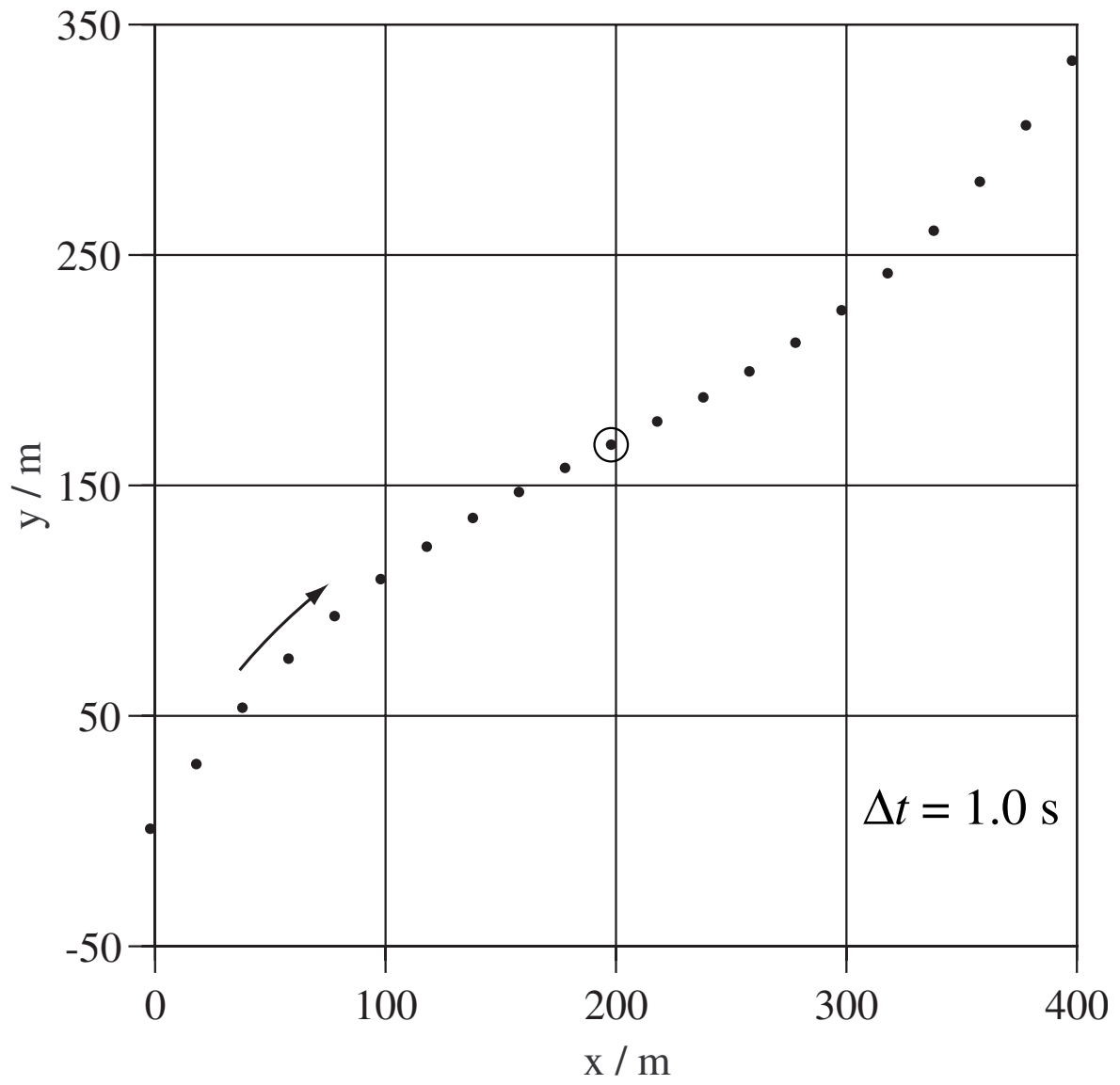


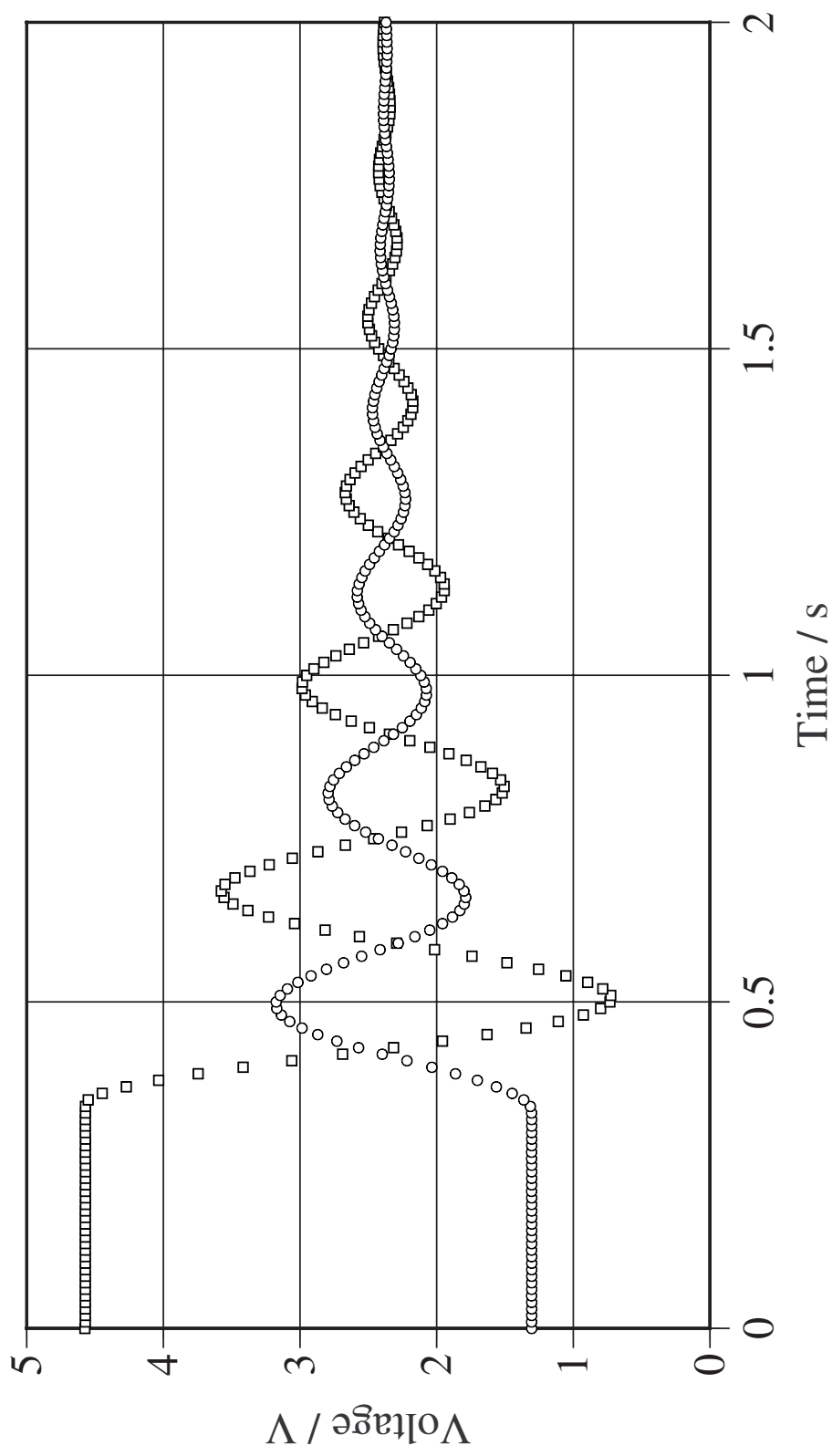
An enlargement of the diagram is on another page.

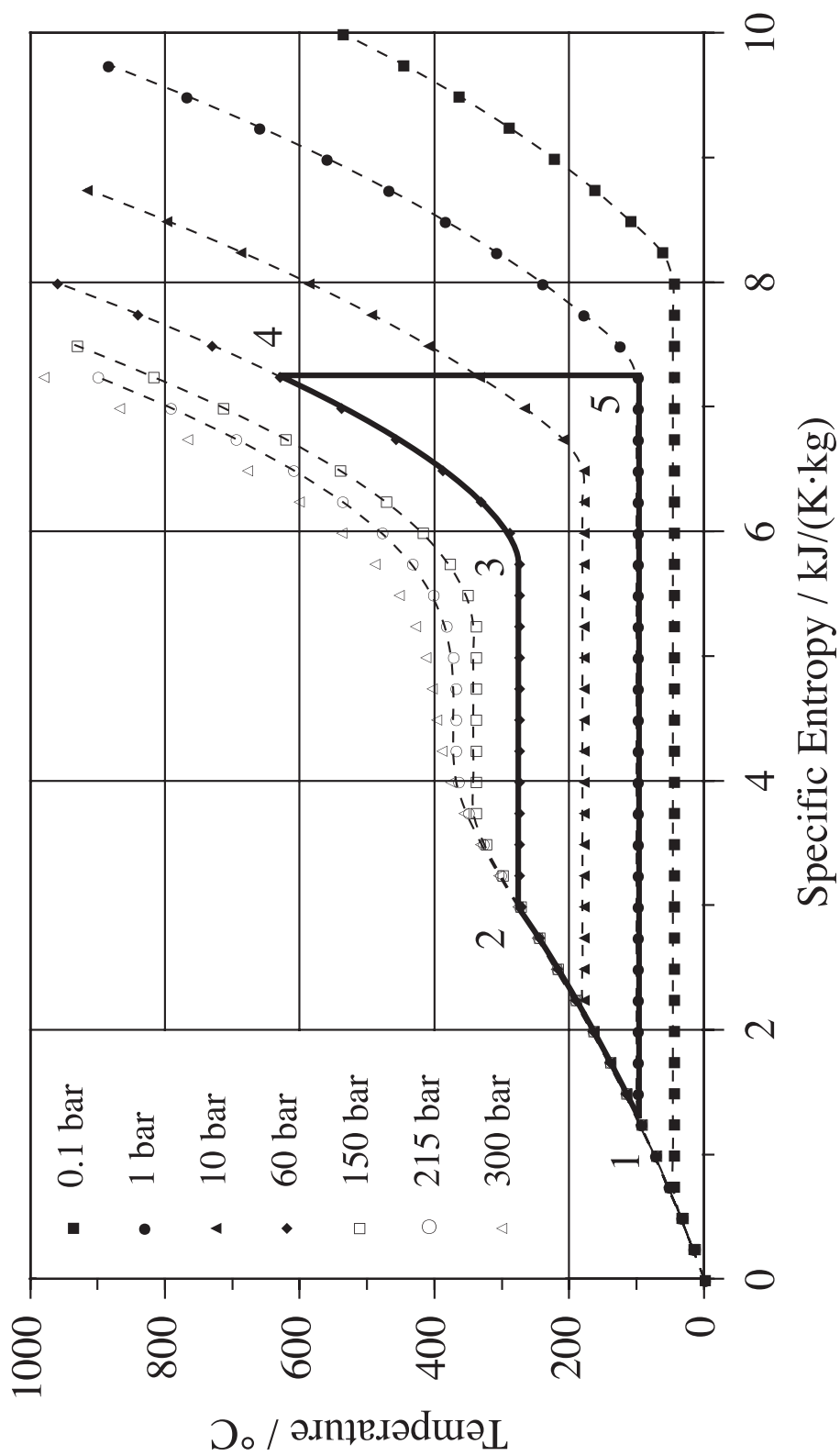
In the following, consider 1 kg of water.

- Treat the steam from point 3 to 4 as an ideal gas with a temperature coefficient of enthalpy (specific heat at constant pressure) of 3000 J/(K·kg). How much entropy must be introduced to the gas so that its temperature increases as in the diagram? Compare your theoretical calculation with the diagram.
- How much energy is released in the cooler into the environment per kilogram of water? (The process from point 5 to 1). What is the flow of energy to the environment when the mass flow of the working fluids through the plant is 800 kg/s?









1. VORDIPLOMPRÜFUNG 2001

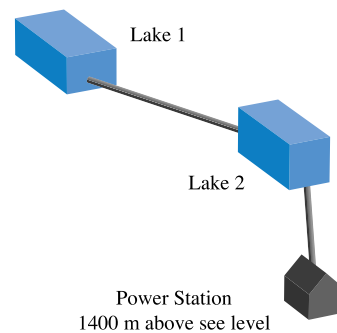
Blatt 1	Studiengang: Maschinenbau Jahr: 2001 ExpertInnen: R. Bachmann
---------	---

Klassen: MB1a Lehrer: Fuh	Datum: 19.9.2001 Zeit: 8:00 – 11:00
------------------------------	--

SCHRIFTLICHE PRÜFUNG IN PHYSIK

ERLAUBTE HILFSMITTEL: Alle Materialien (Zusammenfassung, Bücher, etc.) ausser Aufgabensammlungen

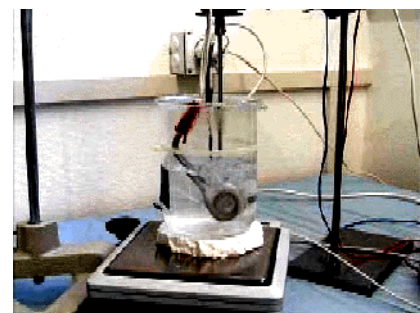
1. Während einer kürzeren Periode ändern sich die Wasserniveaus in zwei kommunizierenden Stauseen (siehe Bild). Während dieser Zeit regnet es nicht, und die Seen erhalten auch kein Wasser über ihre Bäche, die ihnen normalerweise Wasser bringen. Der zweite See hat einen Abfluss zum im Tal liegenden Kraftwerk.



Die Oberfläche von See 1 misst 2.0 km^2 , die von See 2 ist 1.0 km^2 gross. Behandeln Sie die Seen als geradwandige Gefässe. Nehmen Sie einen Wert von 10 N/kg für die Gravitationsfeldstärke.

Während der betrachteten Periode ändert sich das Niveau in See 1 von 1900 m ü.M. auf 1902 m , das in See 2 von 1910 m ü.M. auf 1903 m .

- a. Wie gross ist die Änderung der Volumina der beiden Seen (einzeln)?
 - b. Wieviel Wasser ist durch das Verbindungsrohr der beiden Seen geflossen?
 - c. Wieviel Wasser ist zum Kraftwerk geflossen?
 - d. Wieviel Energie wurde dem Kraftwerk zugeführt?
2. Wasser wird in einem offenen Glas, das auf einer Waage steht, aufgeheizt und dann auch verdampft. Wassertemperatur und Masse sind als Funktionen der Zeit gemessen worden (siehe Diagramm). Der Tauchsieder wurde bei $t = 1600 \text{ s}$ abgeschaltet.



Verteiler

Kandidaten:
Spätestens bis Prüfungsbeginn:

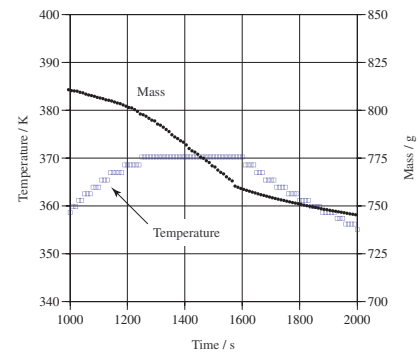
nach Schluss der Prüfung an Dozierende zurück
je ein Exemplar pro Abteilung z.H. Archiv
je ein Exemplar z.H. der beteiligten ExpertInnen

Betrachten Sie im Folgenden den Zeitpunkt $t = 1400$ s.

- Wie gross ist die Entropieproduktionsrate des Tauchsieders in diesem Moment?
- Wie gross ist der Massenstrom des Dampfes?
- Wie gross ist der Entropiestrom durch die Gefässwand? (Der Boden ist gut isoliert.)
- Bestimmen Sie die spezifische Verdampfungsentropie des Wassers aus den Daten des Experiments.

Daten: Umgebungstemperatur: 20°C , Oberfläche der Gefässwand: $3.58 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$; Entropiedurchgangskoeffizient durch die Wand (vom Wasser an die Luft): $0.039 \text{ W/K}^2\text{m}^2$; elektrische Leistung des Tauchsieders: 304 W .

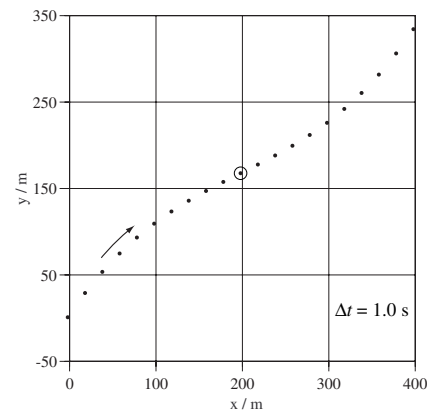
Das Diagramm ist auf einem weiteren Blatt gross abgebildet.



- Ein Auto fährt entlang einer horizontalen Strasse. Seine Position ist in der Grafik von oben gesehen in Abständen von einer Sekunde eingetragen.

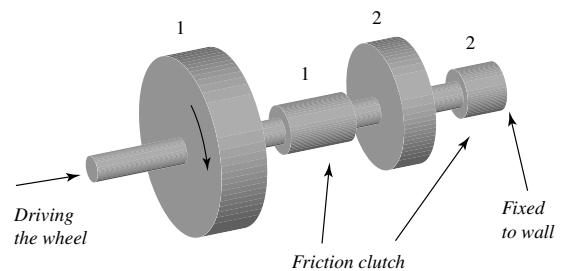
Betrachten Sie den Zeitpunkt, zu dem das Auto eine x -Koordinate von 200 m hat.

- Wie gross ist die Geschwindigkeit (Betrag und Richtung) des Autos zum ausgewählten Zeitpunkt?
- Wie gross ist die Beschleunigung des Autos zu diesem Zeitpunkt?
- Wie gross muss der Haftreibungskoeffizient zwischen Reifen und Strassenbelag an diesem Punkt mindestens sein?



Daten: Masse des Autos: 500 kg ; Luftwiderstandsbeiwert: 0.8 ; Dichte der Luft: 1.2 kg/m^3 ; frontale Querschnittsfläche des Autos: 3.0 m^2 ; Gravitationsfeldstärke: 10 N/kg . Das Diagramm ist auf einem weiteren Blatt gross abgebildet.

- Zwei Schwungräder sind auf einer gemeinsamen Achse montiert. Zwischen den Rädern befinden sich Rutschkupplungen, bei denen sich das Drehmoment *analog zum Ohmschen Gesetz* verhält. Das erste Rad wird von links mit einem *konstanten* Drehmoment angetrieben. Anfangswinkelgeschwindigkeiten und alle nötigen Parameter sind bekannt.



- a. Skizzieren Sie qualitativ den zeitlichen Verlauf der Winkelgeschwindigkeiten. Folgende Daten sind gegeben (alle in SI Einheiten): $\omega_{1,0} = 100$, $\omega_{2,0} = 200$, $J_1 = 2$, $J_2 = 1$, Kupplungswiderstände: 1. Nehmen Sie an, dass das linke Rad *nicht* angetrieben wird.
- b. Skizzieren Sie ein systemdynamisches Diagramm für ein Modell, mit dem man die Winkelgeschwindigkeiten der beiden Räder als Funktion der Zeit berechnen kann.
- c. Formulieren Sie die Bilanzgesetze für den Drehimpuls der beiden Räder mathematisch (in Form von Gleichungen).
- d. Formulieren Sie die Gleichungen für alle vorkommenden Drehimpulsströme.
5. Eine Scout-X1 Rakete der NASA steht mit einer Gesamtmasse von 16 Tonnen auf der Startrampe. Nach der Zündung strömen pro Sekunde 220 kg Gas mit einer Geschwindigkeit von 2100 m/s aus der Düse.

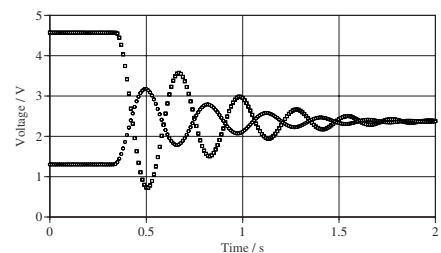
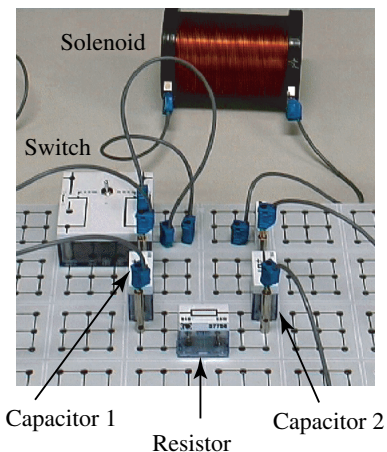
Angaben: Vernachlässigen Sie den Luftwiderstand und nehmen Sie einen Wert von 10 N/kg für die Gravitationsfeldstärke.

- a. Stellen Sie eine Impulsbilanz für das System Rakete auf. Wieso ist die Impulsänderungsrate *nicht* gleich Masse mal Beschleunigung?
- b. Welche Beschleunigung weist die Rakete gerade am Anfang auf? Wie gross ist die Beschleunigung nach 40 Sekunden Brenndauer?
- c. Welche Geschwindigkeit erreicht die Rakete nach 40 Sekunden Brenndauer?

6. Eine Spule aus dünnem Draht ist in einem Stromkreis mit zwei anfangs geladenen Kondensatoren verbunden. Die Spule hat einen elektrischen Widerstand von 200 Ω . Zusätzlich befindet sich ein Widerstandselement mit einem Widerstand von 320 Ω im Stromkreis. Alle vier Bauteile befinden sich in einem einzigen Stromkreis.

Eine Messung des Schwingungsvorgangs nach dem Schliessen des Stromkreises bei etwa 0.4 s ist in der Grafik gegeben (Vergrößerung der Grafik siehe hinten.)

- a. Zeichnen Sie die abstrakte Darstellung des Stromkreises mit Kondensatoren, reinem induktivem Element und einem einzigen Widerstandselement. Wie gross ist der Widerstand des Widerstandselementes?
- b. Die Kapazität des grösseren Kondensators beträgt 60 μF . Welche der beiden Messkurven gehört zu diesem?
- c. Wie gross ist die Kapazität des zweiten Kondensators?
- d. Wie gross ist der Ladungsstrom zum Zeitpunkt, an dem sich die beiden Messkurven zum zweiten Mal schneiden?



- e. Wie gross ist die induktive Spannung zu diesem Zeitpunkt? (Hinweis: Das ist *nicht* die Spannung über der Spule, sondern über dem abstrakten induktiven Element!)

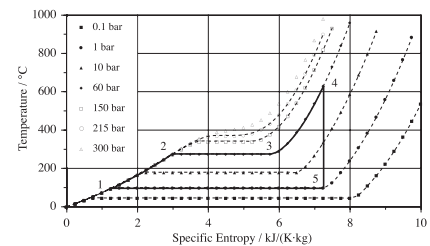
7. Ein Eimer mit Wasser hängt von einem Seil, das um eine Rolle gewunden ist. Die Einrichtung befindet sich über einem Ziehbrunnen, der 10 m tief ist. Man lässt die Kurbel los, und der Eimer saunt in die Tiefe. Wie lange dauert es, bis er unten im Schacht aufschlägt?

Daten: Masse des Eimers mit Wasser: 10 kg; Masse der Rolle: 20 kg; Radius der Rolle: 6.0 cm.

Weitere Angaben: Vernachlässigen Sie die Wirkung der Kurbel, des Luftwiderstandes und von Reibung. Das Seil soll als masselos angenommen werden. Nehmen Sie einen Wert von 10 N/kg für die Gravitationsfeldstärke.



8. Der Rankine-Prozess ist ein Modell für die Vorgänge, die das Arbeitsmittel (Wasser und Dampf) in einem Kraftwerk mit Dampfturbine durchläuft (ausgezogene Linie im Diagramm). Von 1 nach 2 wird das Wasser durch Heizen erwärmt. Gleichzeitig wird der Druck auf 60 bar erhöht. Weiteres Heizen führt zum vollständigen Verdampfen (2 bis 3). Dann wird der Dampf bei konstantem Druck weiter geheizt (3 bis 4). Von 4 bis 5 entspannt sich der Dampf isentrop in der Turbine (der Druck sinkt hier auf 1 bar). Dann wird der Dampf im Kühler kondensiert (5 bis 1).



Eine Vergrößerung des Diagramms ist auf einem weiteren Blatt gegeben.

Betrachten Sie im Folgenden 1 kg Wasser.

- Behandeln Sie den Dampf von Punkt 3 bis 4 als ideales Gas mit einem Temperaturkoeffizienten der Enthalpie (Wärmekapazität bei konstantem Druck) von 3000 J/(K·kg). Wieviel Entropie sollte man dem Gas zuführen, damit seine Temperatur wie im Diagramm steigt? Vergleichen Sie Ihre theoretische Rechnung mit dem Diagramm.
- Wieviel Energie wird pro Kilogramm Wasser im Kühler an die Umwelt abgegeben? (Prozess von Punkt 5 bis 1.) Wie gross ist der Energiestrom an die Umgebung, wenn der Massenstrom des Arbeitsmittels durch die Anlage 800 kg/s beträgt?

1. VORDIPLOMPRÜFUNG 2001

Blatt 1		Abteilung:	Maschinenbau
		Jahr:	2001
		Experten:	R. Bachmann
<hr/>			
Klassen:	MB1a	Datum:	19.9.2001
Lehrer:	Fuh	Zeit:	8:00 – 11:00
<hr/>			

LÖSUNGEN ZUR SCHRIFTLICHE PRÜFUNG IN PHYSIK

ERLAUBTE HILFSMITTEL: Alle Materialien (Zusammenfassung, Bücher, etc.) ausser Aufgabensammlungen

1. Two communicating artificial lakes.

a.

$$\Delta V_1 = A_1 \Delta h_1 = 2 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \cdot 2.0 \text{ m} = 4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$\Delta V_2 = A_2 \Delta h_2 = 1 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \cdot (-7.0) \text{ m} = -7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

b.

$$|V_{e1}| = |\Delta V_1| = 4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

c.

$$\Delta V_2 = V_{e1} + V_{e2} \quad \Rightarrow \quad |V_{e2}| = 3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

d. Water flows from the second lake down to the power station. Use the average height from where the water comes:

$$W_{grav} = mg \Delta h = \rho |V_{e2}| g \Delta h = 1000 \cdot 3 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot (1906.5 - 1400) \text{ J} = 1.52 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

2. Evaporation of water in an open glass.

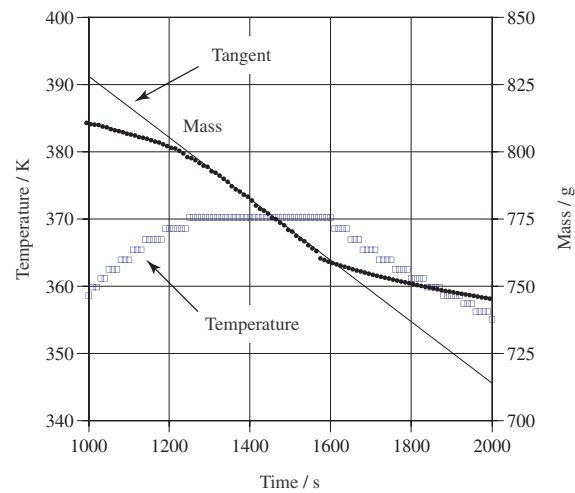
a. Dissipation rate = 304 W (all the energy released in the immersion heater is dissipated). Dissipation temperature = 370 K. Therefore:

$$\Pi_S = \frac{P_{diss}}{T} = \frac{304 \text{ W}}{370 \text{ K}} = 0.822 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

Verteiler

Spätestens bis Prüfungsbeginn: je ein Exemplar pro Abteilung z.H. Archiv
je ein Exemplar z.H. der beteiligten ExpertInnen

b.



$$\frac{dm}{dt} \approx \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{715 - 830 \text{ g}}{1000 \text{ s}} = -1.15 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

c.

$$I_S = h_S A \Delta T = 0.039 \cdot 3.58 \cdot 10^{-2} (293 - 370) \frac{\text{W}}{\text{K}} = -0.108 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

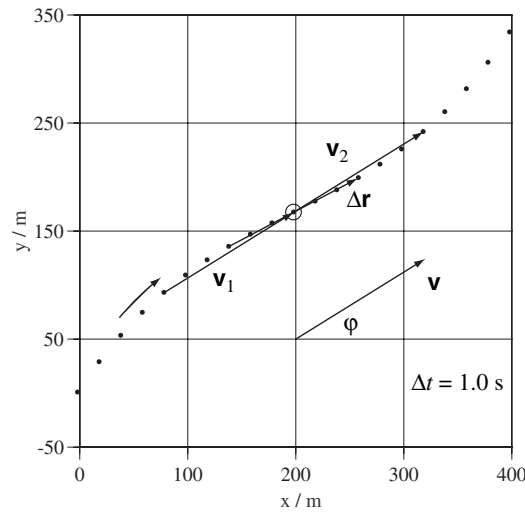
d. The difference between the entropy production rate in the immersion heater and the entropy current due to heat loss is available for producing steam:

$$\begin{aligned} \Pi_S - |I_S| &= \lambda_S \dot{m} \quad , \quad \dot{m} = I_m \\ \Rightarrow \lambda_S &= \frac{\Pi_S - |I_S|}{|I_m|} = \frac{0.822 - 0.108}{1.15 \cdot 10^{-4}} \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{kg}} = 6210 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{kg}} \end{aligned}$$

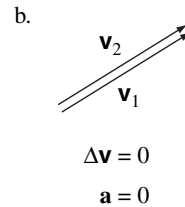
Formal derivation:

$$\begin{aligned} \dot{S} &= \Pi_S + I_S + I_{S,conv} \\ \dot{m} &= I_m \\ \dot{S} &= m\dot{s} + \dot{m}s \\ I_{S,conv} &= (\lambda_S + s)I_m \\ \dot{s} &= k_{S,water} \dot{T}_{water} \quad (\dot{T}_{water} = 0 \text{ during evaporation}) \\ \Rightarrow 0 &= \Pi_S + I_S + \lambda_S I_m \end{aligned}$$

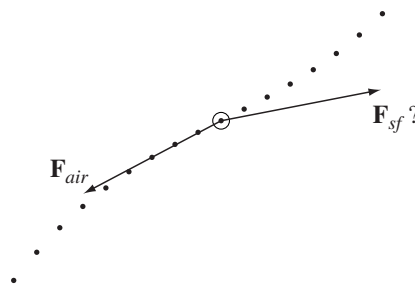
3. Car on winding road.



- a. $|\Delta \mathbf{r}| = 142 \text{ m}$
 $|\mathbf{v}| = 142 \text{ m} / 6 \text{ s} = 23.7 \text{ m/s}$
 $\varphi = 31.5^\circ$



- a. Draw the vector of the change of position for a few time steps around the point under consideration. For 6 s we have a length of the vector of 142 m. The velocity vector is parallel to this vector.
- b. Two velocity vectors before and after the chosen point show that the acceleration at that point must be equal to zero. (The vectors are parallel and of equal length, so the change of velocity is zero. We can also see that the path of the car is completely symmetrical around that point: neither the direction nor the speed change here.)
- c.



Newton:

$$m\mathbf{a} = \mathbf{F}_{air} + \mathbf{F}_{sf}$$

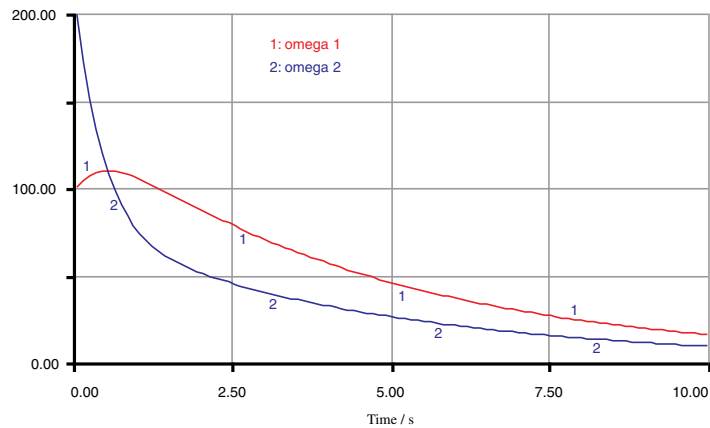
Since the acceleration is zero, the force of static friction must balance the force of air resistance (they are equal and opposite). From the law for air resistance, the law for static friction, and from the balance of momentum in the vertical direction (the force of gravity equals the normal force) we find

$$\frac{1}{2} c_w A \rho_{air} v^2 = \mu_{sf} m g$$

$$\mu_{sf} = \frac{c_w A \rho_{air} v^2}{2 m g} = \frac{0.80 \cdot 3.0 \cdot 1.2 \cdot 23.7^2}{2 \cdot 500 \cdot 10} = 0.16$$

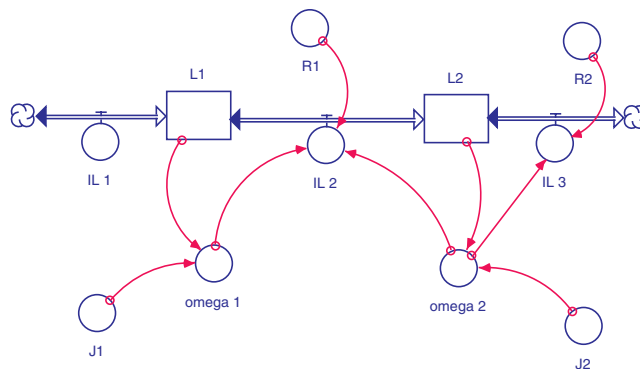
4. Two fly wheels.

a.



The mechanical system is analogous to two communicating straight-walled fluid containers, where the second container has an outflow. The second container has a smaller cross section, and it is filled to a higher level initially. The parameters of the system give the time constant a value of around one second.

b.



The diagram represents the two laws of balance of angular momentum (the wheels store angular momentum). The angular velocities are calculated from the values of angular momentum, and the momentum currents (2 and 3) are proportional to angular velocity differences.

c. Laws of balance of angular momentum:

$$\dot{L}_1 = I_{L1} - I_{L2}$$

$$\dot{L}_2 = I_{L2} - I_{L3}$$

d. Laws for angular momentum currents:

$$I_{L1} = const$$

$$I_{L2} = (\omega_1 - \omega_2)/R_1$$

$$I_{L3} = \omega_2/R_2$$

5. There are two mechanical processes with respect to the rocket as a system: gravity and the flow of gas.
- a. Law of balance of momentum and relation between momentum and velocity:

$$\dot{p} = I_{p,grav} + I_{p,conv}$$

$$\dot{p} = m\dot{v} + \dot{m}v$$

Since the mass of the rocket changes, the rate of change of momentum is *not* equal to the mass multiplied by the rate of change of velocity.

- b. Constitutive laws and law of balance of mass:

$$I_{p,grav} = -mg$$

$$I_{p,conv} = (v + v_{exit})I_m, \quad v_{exit} = -2100\text{m/s}$$

$$\dot{m} = I_m, \quad I_m = -220\text{kg/s}$$

Insert in former equations:

$$m\dot{v} + \dot{m}v = -mg + (v + v_{exit})I_m$$

$$\dot{v} = -g + \frac{v_{exit}I_m}{m}$$

Numerical values:

$$\dot{v}(0) = -10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + \frac{-2100 \cdot (-220)}{16000} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 18.9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\dot{v}(40) = -10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + \frac{-2100 \cdot (-220)}{16000 + (-220) \cdot 40} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 54.2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

- c. Direct integration of the differential equation:

$$\int_0^{v(40)} dv = \int_0^{40} -g dt + v_{exit} \int_{m(0)}^{m(40)} \frac{dm}{m}$$

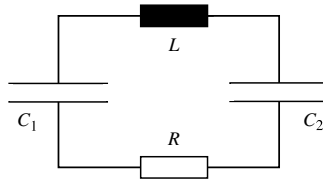
$$v(40) = -10 \cdot 40 \frac{\text{m}}{\text{s}} + (-2100) \ln\left(\frac{16000 + (-220) \cdot 40}{16000}\right) \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1280 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

An approximate result can be obtained more easily by using the average of the values of acceleration calculated before:

$$v(40) \approx 0.5 \cdot \left(18.9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 54.2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot 40\text{s} = 1460 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

6. Electric oscillator.

- a. The four elements form a single circuit. The resistance of the solenoid has to be added to the resistance of the resistor, therefore the total resistance is 520 Ω .

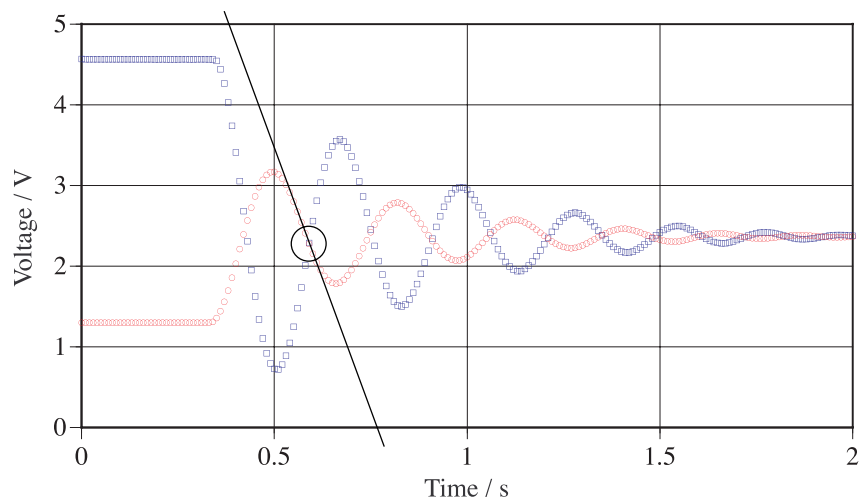


- b. The curve with the smaller amplitude (the one that starts at a lower voltage) belongs to the larger capacitor.
 c. Use the law of balance of charge for the initial and the final states of the capacitor:

$$C_1 U_{C1,0} + C_2 U_{C2,0} = (C_1 + C_2) U_{C,f}$$

$$C_1 = \frac{1}{U_{C1,0} - U_{C,f}} C_2 (U_{C,f} - U_{C2,0}) = \frac{60 \cdot 10^{-6} (2.40 - 1.30)}{4.57 - 2.40} \text{ F} = 30 \mu\text{F}$$

d.



The law of balance of charge of a capacitor involves the current, and the charge of the capacitor depends upon its voltage:

$$\frac{dQ_2}{dt} = I_Q \quad , \quad \frac{dQ_2}{dt} = \frac{d(C_2 U_{C2})}{dt} = C_2 \frac{dU_{C2}}{dt}$$

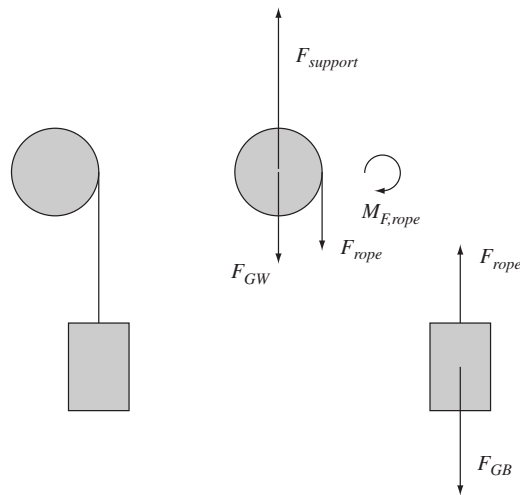
$$I_Q = 60 \cdot 10^{-6} \frac{5}{0.385} \text{ A} = 780 \mu\text{A}$$

- e. The sum of all voltages in the loop is equal to zero. The voltages of the capacitors just cancel at the moment under consideration. Therefore, the sum of the inductive and the resistive voltages must be zero:

$$U_L + U_R = 0$$

$$|U_L| = |U_R| = R I_Q = 520 \cdot 780 \cdot 10^{-6} \text{ V} = 0.41 \text{ V}$$

7. Free body diagrams:



Laws of balance:

$$F_{support} = F_{GW} + F_{rope}$$

$$J_W \alpha_W = M_{F,rope}$$

$$m_B a_B = F_{GB} - F_{rope}$$

Constitutive laws:

$$J_W = \frac{1}{2} m_W R^2$$

$$M_{F,rope} = R F_{rope}$$

$$F_{GB} = m_B g$$

Kinematics:

$$a_B = R \alpha_W$$

$$d = \frac{1}{2} a_B t^2 \quad (a_B \text{ is constant})$$

Combining all the relations:

$$\frac{1}{2} m_W R^2 \frac{a_B}{R} = R (F_{GB} - m_B a_B) = R (m_B g - m_B a_B)$$

$$a_B = \frac{m_B g}{\frac{1}{2} m_W + m_B} = \frac{10 \cdot 10}{0.5 \cdot 20 + 10} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 5.0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$t = \sqrt{\frac{2d}{a_B}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10}{5}} \text{s} = 2.0 \text{s}$$

8. Analysis of two processes: (a) heating of an ideal gas at constant pressure, (b) condensation of steam.
- a. Heating of 1 kg of an ideal gas (having constant temperature coefficient of enthalpy):

$$\dot{s} = k_p \dot{T} \quad , \quad k_p = \frac{c_p}{T}$$

$$\Rightarrow \Delta s = c_p \ln\left(\frac{T_4}{T_3}\right) = 3000 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{kg}} \cdot \ln\left(\frac{630 + 273}{280 + 273}\right) = 1470 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{kg}}$$

If the steam were an ideal gas with constant temperature coefficient of enthalpy of 3000 J/(K·kg), we would need 1470 J/(K·kg) entropy to heat the gas from point 3 to 4. The corresponding value read from the T - s diagram is 1550 J/(K·kg).

- b. Condensation at constant temperature (and constant pressure): The entropy emitted by the fluid from point 5 to point 1 can be read from the T - s diagram; it is equal to 6000 J/K for one kilogram of steam condensing at 100°C. This amount of entropy is flowing together with energy out of the condensing fluid. The amount of energy accompanying the entropy is

$$w_{e,th} = T s_e = 373 \cdot 6000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 2.24 \text{ MJ}$$

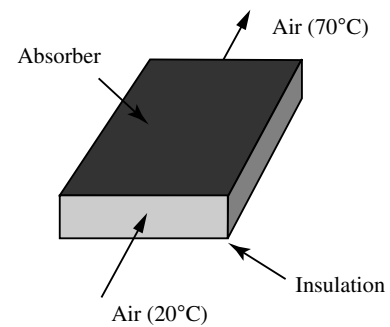
If there is a fluid flow of 800 kg/s through the power plant, the total flow of energy into the environment is

$$I_W = w_{e,th} I_m = 800 \cdot 2.24 \cdot 10^6 \text{ W} = 1.8 \cdot 10^9 \text{ W}$$

9. Ein Solarkollektor besteht aus einem 2.5 m^2 grossen schwarzen Blech mit dahinterliegendem Rechteckkanal, durch den Luft strömt. Über dem Blech befindet sich eine Glasabdeckung, um die Wärmeverluste zu verringern. Die Sonne scheint so, dass das Blech Energie mit einer Rate von 1600 W absorbiert.

- Wie gross ist der Energiestrom, der an die Luft im Kollektor geht?
- Wie gross ist der Energiestrom wegen Wärmeverlusten an die Umgebung?
- Wie gross ist die mittlere Temperatur des Absorberblechs?
- Der Druck der Luft im Kollektor ist 0.96 bar . Bestimmen Sie die Dichte der Luft beim Eintritt und beim Austritt.

Daten: Der Massenstrom der Luft beträgt 0.020 kg/s , die Eintrittstemperatur ist 20°C , genau wie die Temperatur der Umgebung. Die Austrittstemperatur ist 70°C . Der Wärmedurchgangskoeffizient vom Blech an die durchströmende Luft beträgt $40 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$. Der Temperaturkoeffizient der Enthalpie von Luft ist $1006 \text{ J}/(\text{K}\cdot\text{kg})$.



10. Die Rotation der Erde um ihre Achse verändert sich im Laufe der Zeit durch die Gezeitenreibung. Momentan beträgt die Verlängerung der Tageslänge etwa 2.2 s in $100,000$ Jahren. Statt die Energie der Rotation der Erde vollkommen dissipieren zu lassen, kann man einen Teil in Gezeitenkraftwerken nutzen.

Daten: Trägheitsmoment der Erde: $8.07 \cdot 10^{37} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$.

- Wie gross ist die Energie, die die Erde auf Grund ihrer Rotation um ihre Achse hat?
- Wie gross ist die Änderungsrate der Tageslänge?
- Wie gross ist die Änderungsrate der Winkelgeschwindigkeit der Erde?
- Mit welcher Rate nimmt die Energie der Rotation der Erde ab? Vergleichen Sie diesen Wert mit der Rate, mit der momentan Energie gebraucht wird (etwa 10^{13} W).

11. Die Rotation der Erde um ihre Achse und die Bahn des Mondes um die Erde verändern sich im Laufe der Zeit durch die Gezeitenreibung. Betrachten Sie dazu das folgende vereinfachte Modell: Der Mittelpunkt der Erde bleibt fest, der Mond bewegt sich um den Mittelpunkt der Erde. Beachten Sie also nur den Eigendrehimpuls (Spin) der Erde und den Bahndrehimpuls des Mondes.

Daten: Masse der Erde: $6.0 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, Trägheitsmoment der Erde: $8.07 \cdot 10^{37} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$, Masse des Mondes: $7.41 \cdot 10^{22} \text{ kg}$, Distanz der Zentren der beiden Körper: $3.84 \cdot 10^8 \text{ m}$, Umlaufzeit des Mondes um die Erde: 27.3 Tage.

- Wie gross sind der Eigendrehimpuls der Erde und der

Bahndrehimpuls des Mondes heute? Wie gross ist der Drehimpuls des Systems?

- b. Wegen der Gezeitenreibung wird die Rotation der Erde langsamer, und der Mond entfernt sich von der Erde. Was ist die Bedingung dafür, dass die Gezeitenreibung aufhört, d.h., wann hört dieser Veränderungsprozess auf?
- c. Wie gross ist dann die Entfernung des Mondes und die Rotationsperiode der Erde um ihre Achse?