

ASSESSMENTPRÜFUNG 2005

Blatt 1		Studiengang:	MB
		Jahr:	2005
		ExpertInnen:	
Klassen:	MB1a	Datum:	7.9.2005
Lehrer:	Fuh	Zeit:	8:00 – 11:00

SCHRIFTLICHE PRÜFUNG IN PHYSIK

ERLAUBTE HILFSMITTEL: Eigene Zusammenfassung und Bücher, Taschenrechner

1. The following text is taken from the abstract of a scientific medical paper. It deals with the pressure-volume relation in the human eye.

PURPOSE. To measure the rigidity coefficient of a large number of subjects at clinically encountered intraocular pressures (IOPs) and to examine the possible correlation of ocular rigidity with other factors, such as the age of the patients.

METHODS. The pressure–volume relationship and the ocular rigidity coefficient (K) were determined in 79 eyes undergoing cataract surgery, by injecting 200 μl of saline solution (in steps of 4.5 μl), while continually monitoring the IOP with a transducer, up to the limit of 60 mm Hg. Data within an IOP range of 10 to 35 mm Hg were used to calculate the rigidity coefficient.

RESULTS. The mean ocular rigidity coefficient was 0.0126 mm Hg/ μl .

(Ioannis G. Pallikaris, George D. Kymionis, Harilaos S. Ginis, George A. Kounis, and Miltiadis K. Tsilimbaris: Ocular Rigidity in Living Human Eyes. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, **46**:409-414, 2005.)

The ocular rigidity coefficient K is defined as

$$\log_{10} \left(\frac{p}{p_o} \right) = K \Delta V$$

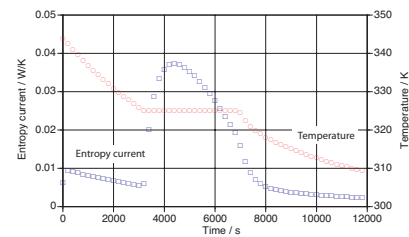
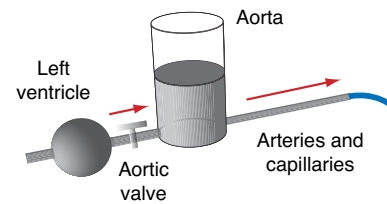
$p_o = 10 \text{ mmHg}$, ΔV in μl .

Verteiler

Kandidaten:
Archiv:
ExpertInnen:

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

- a. The ocular rigidity coefficient is given a *wrong* unit in the paper. What should be the correct one?
 - b. Calculate the pressure in the eye for values of ΔV between $0 \mu\text{l}$ and $50 \mu\text{l}$ in steps of $10 \mu\text{l}$. Sketch the result in a pressure-volume diagram.
 - c. What are the values of elastance and hydraulic capacitance of the human eye for a pressure of 25 mmHg . Report the values in standard SI units.
2. Compare the models for two very different applications. A. A capacitor is used to support a battery (lengthen its lifetime) in a digital camera. B. The windkessel model of the systemic circuit of the human circulatory system (see figure).
- a. Sketch an electric circuit diagram for each of the models.
 - b. Discuss similarities and differences of the models.
 - c. Write down all the equations that make up a complete dynamical model of the electric application (battery and capacitor). To make things easier, assume the load is a simple ohmic resistor. The open circuit voltage of the battery is known as a function of time ($U_B(t)$).
3. A hot substance is contained in a test tube. It is cooling down in a water bath that is also cooling. The temperature of the substance and the entropy current out of the substance are measured as functions of time (see figure and graph on a separate sheet).
- a. Determine the entropy of the substance as a function of time (use a starting value of 200 J/K).
 - b. Use the data to determine the temperature-entropy diagram of the substance.
 - c. Interpret your results. Which important properties of the substance can be derived based on the data? How?
4. A car having a mass of 800 kg brakes at a constant rate from 72 km/h to zero in 5.0 s . For the following estimates and calculations, create an oversimplified model (neglect air resistance).
- a. Which force is responsible for the car slowing down? (Take the entire car as the system.)
 - b. Determine the rate at which energy is released because of braking as a function of time. What is the power of the process right at the beginning?
 - c. In order not to lose the energy released, we want to store it in a flywheel. How would you design the wheel (radius, mass, maximum number of revolutions)?
 - d. Assume the wheel starts from rest. How large should the



torque be so that the initial energy current can be transferred? Do you see a problem?

5. A small steel ball (mass 2.09 g, radius 4.0 mm) is sinking in rape seed oil (density 920 kg/m³) inside a container. Data of depth as a function of time has been taken from a movie (see table).

- Use the data to determine the speed of the ball as a function of time. Draw the corresponding $v-t$ diagram. Sketch a suitable smooth curve to interpolate the calculated values. What kind of function could this be?
- Write down all the equations necessary for a complete model of the motion of the ball. Assume that the drag (flow resistance) is proportional to the speed of the ball, with a factor f . Show that the equations can be combined into the following equation:

$$m\dot{v} = mg - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{oil}g - fv$$

- What is the value of the factor f in your model for the experiment?

Table 1: Depth versus time

t / s	y / cm
0	0
0.04	0.5
0.08	1.6
0.12	3.9
0.16	6.4
0.20	9.3
0.24	12.3
0.28	15.5
0.32	18.6
0.36	21.9
0.40	25.1
0.44	28.3
0.48	31.5
0.52	34.7

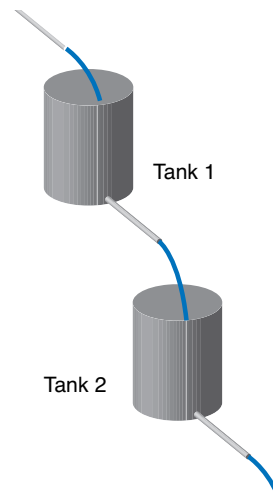
6. Two bodies of water of 0.50 kg each are separated by a Peltier device. The bodies are completely insulated from the environment. The Peltier device is driven electrically. It pumps entropy from the colder into the warmer water. The device works by creating a cold and a hot side.

We consider a certain moment. Values of temperature, electric current and resistance are given in the table.

Table 2: Data for water and Peltier device

	Cold	Hot
Temperature of water	295.7 K	301.7 K
Temperature of Peltier device	294.5 K	303.4 K
Entropy current into/out of water	0.0122 W/K	0.0169 W/K
Electric current through device	1.02 A	
Electric resistance of device	0.98 Ω	

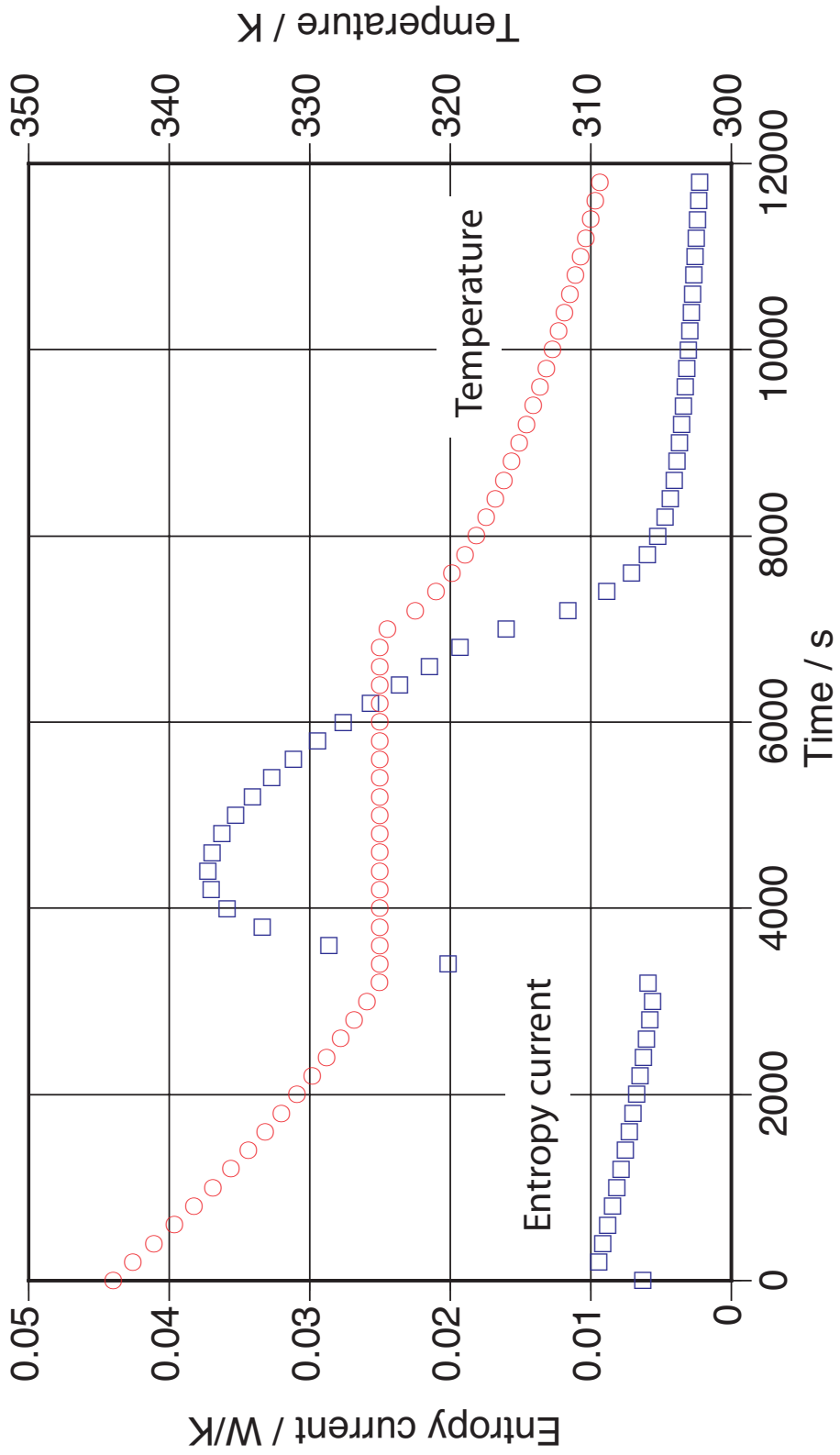
- a. Estimate the entropy production rate due to the electric process.
 - b. The entropy current leaving the cold water is 0.0122 W/K , the current into the warm water is 0.0169 W/K . What is the total entropy production rate in the system? How much is this compared to the entropy produced electrically?
 - c. If the entire process were completely reversible, how much energy would be needed per second to pump the entropy current of 0.0122 W/K from the cold into the warm water?
 - d. The voltage that powers the Peltier device is 1.5 V . What is the efficiency of the device?
7. We seek laws of balance for the following examples. Give brief explanations for your answers.
- a. There is salt water in Tank 1. In Tank 2, there is fresh water initially. For which quantities do we have to write laws of balance for a minimal dynamical model of the system? The water in both tanks is always mixed. (You do not actually have to write down the equations.)
 - b. Initially, the water in Tank 1 is hot, and the water in Tank 2 is cold. Do we now need new laws of balance? If so, which?
 - c. Two gliders with repelling magnets are moving toward each other on a horizontal track. Write the equations of balance for the horizontal momentum for each glider (for a dynamical model). Take friction and the effect of the magnets into consideration.
 - d. Take the gliders of Problem c as a single system. What is the law of balance of horizontal momentum (in dynamical form)?
 - e. Formulate the equation of balance of entropy for a lived in house in winter (dynamical form). Explain the terms.
 - f. What is the law of balance of charge for a node in an electric circuit?
8. Determination of the hydraulic parameters (inductance and capacitance) of the aorta of a human. The heart rate is $60/\text{Minute}$. With every heart beat, 70 ml blood are transported into the aorta. Length of the aorta: 70 cm . Diameter of the aorta: 2.5 cm . Density of blood: 1060 kg/m^3 . Lower value of blood pressure: 85 mmHg , upper value: 120 mmHg .
- a. Consider the aorta to be a hose of constant cross section. What is the hydraulic inductance of this system?
 - b. Assume that the oscillatory frequency of the aorta matches the average frequency of the heart (so that the heart expands and contracts naturally with the same rhythm as the heart beats). Use this assumption to determine the capacitance of



the aorta.

- c. When the 70 ml of blood are pumped into the aorta, the blood pressure goes from the lower to the upper value. Use this to determine the hydraulic capacitance of the aorta, and compare to the previous result.

Problem 3



ASSESSMENTPRÜFUNG 2005

Blatt 1		Studiengang:	MB
		Jahr:	2005
		ExpertInnen:	
Klassen:	MB1a	Datum:	7.9.2005
Lehrer:	Fuh	Zeit:	8:00 – 11:00

SCHRIFTLICHE PRÜFUNG IN PHYSIK

ERLAUBTE HILFSMITTEL: Eigene Zusammenfassung und Bücher, Taschenrechner

1. Der folgende Text ist ein Abstract aus einer medizinischen wissenschaftlichen Arbeit. Es geht um den Druck-Volumen Zusammenhang im menschlichen Auge.

PURPOSE. To measure the rigidity coefficient of a large number of subjects at clinically encountered intraocular pressures (IOPs) and to examine the possible correlation of ocular rigidity with other factors, such as the age of the patients.

METHODS. The pressure–volume relationship and the ocular rigidity coefficient (K) were determined in 79 eyes undergoing cataract surgery, by injecting 200 μl of saline solution (in steps of 4.5 μl), while continually monitoring the IOP with a transducer, up to the limit of 60 mm Hg. Data within an IOP range of 10 to 35 mm Hg were used to calculate the rigidity coefficient.

RESULTS. The mean ocular rigidity coefficient was 0.0126 mm Hg/ μl .

(Ioannis G. Pallikaris, George D. Kymionis, Harilaos S. Ginis, George A. Kounis, and Miltiadis K. Tsilimbaris: Ocular Rigidity in Living Human Eyes. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, **46**:409-414, 2005.)

Der ocular rigidity Koeffizient K ist so definiert:

$$\log_{10} \left(\frac{p}{p_o} \right) = K \Delta V$$

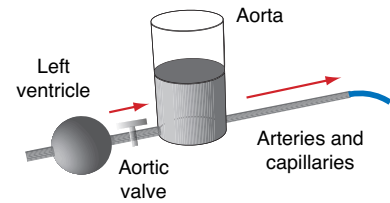
$p_o = 10 \text{ mmHg}$, ΔV in μl .

Verteiler

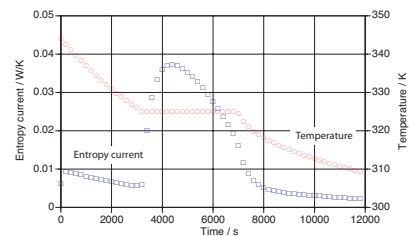
Kandidaten:
Archiv:
ExpertInnen:

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

- a. Der ocular rigidity coefficient hat die *falsche* Einheit. Was sollte die richtige sein??
 - b. Berechnen Sie den Augeninnendruck für Werte von ΔV zwischen $0 \mu\text{l}$ und $50 \mu\text{l}$ in Schritten von $10 \mu\text{l}$. Skizzieren Sie das Resultat in einem Druck-Volumen Diagramm.
 - c. Wie gross sind die elastance und die hydraulische Kapazität des menschlichen Auges bei einem Druck von 25 mm-Hg . Geben Sie die Werte in standard SI Einheiten.
2. Vergleichen Sie die Modelle für zwei sehr verschiedene Anwendungen. A. Ein Kondensator wird zur Unterstützung (Verlängerung der Lebensdauer) einer Batterie in einer digitalen Kamera eingesetzt. B. Das Windkessel-Modell des systemischen Blutkreislaufes (siehe Figur).
- a. Zeichnen Sie für beide Modelle je ein elektrisches Schaltungsdiagramm.
 - b. Erklären Sie Ähnlichkeiten und Unterschiede der beiden Modelle.
 - c. Stellen Sie alle Gleichungen für ein komplettes dynamisches Modell des elektrischen Beispiels (Batterie und Kondensator) auf. Zur Vereinfachung nehmen Sie an, dass das angeschlossene Gerät ein ohmscher Lastwiderstand ist. Die Leerlaufspannung der angeschlossenen Batterie ist als Funktion der Zeit bekannt ($U_B(t)$).



3. Eine heisse Substanz befindet sich in einem Reagenzglas und kühlt im Laufe der Zeit ab (das Glas befindet sich in einem Wasserbad, das auch abkühlt). Die Temperatur der Substanz und der Entropiestrom aus der Substanz an die Umgebung werden als Funktionen der Zeit gemessen (separates Blatt).
- a. Bestimmen Sie die Entropie der Substanz als Funktion der Zeit (gehen Sie von einem Anfangswert der Entropie der Substanz von 200 J/K aus).
 - b. Bestimmen Sie aus den Daten das Temperatur-Entropie Diagramm der Substanz.
 - c. Interpretieren Sie, was Sie sehen. Welche wichtigen Materialeigenschaften der Substanz kann man aus den Daten herleiten? Wie?
4. Ein Auto mit einer Masse von 800 kg bremst gleichmässig in 5.0 s von 72 km/h auf null ab. Machen Sie für die folgenden Berechnungen und Abschätzungen ein (unrealistisch) einfaches Modell: kein Luftwiderstand.
- a. Welche Kraft auf das Auto ist für das Langsamerwerden verantwortlich? (Nehmen Sie das ganze Auto als System.)



- b. Bestimmen Sie die Rate, mit der Energie wegen des Bremsens freigesetzt wird, als Funktion der Zeit. Wie gross ist die Leistung des Prozesses gerade am Anfang?
- c. Sie wollen die freigesetzte Energie auf ein Schwungrad im Auto übertragen (damit die Energie nicht verloren geht). Wie würden Sie das Rad auslegen? (Radius, Masse, maximale Drehzahl?)
- d. Nehmen Sie an, das Schwungrad startet aus der Ruhelage. Wie gross müsste theoretisch das Drehmoment sein, damit der Energiestrom am Anfang übertragen werden kann. Ergibt sich da ein Problem?
5. Eine kleine Stahlkugel (Masse 2.09 g, Radius 4.0 mm) sinkt in einem Gefäss mit Rapsöl (Dichte 920 kg/m³). Daten für die Tiefe als Funktion der Zeit wurden einem Film entnommen (siehe Tabelle).
- a. Bestimmen Sie aufgrund der Daten numerisch die Geschwindigkeit der Kugel als Funktion der Zeit. Zeichnen Sie die Daten in ein v - t Diagramm ein. Skizzieren Sie eine glatte Kurve durch die gerechneten Punkte, die Sie für angemessen halten. Was könnte das für eine Funktion sein?
- b. Schreiben Sie alle Gleichungen hin, die man für ein komplettes Modell des Bewegungsvorgangs braucht. Nehmen Sie dabei an, dass der Strömungswiderstand proportional zur Geschwindigkeit der Kugel ist (mit einem Faktor f). Zeigen Sie, dass man alle Gleichungen zu folgender Gleichung kombinieren kann:

$$m\dot{v} = mg - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{oil} g - f v$$

- c. Welchen Wert hat der Faktor f in Ihrem Modell für den durchgeführten Versuch?
6. Zwei Wassermengen von je 0.50 kg sind durch ein Peltier-Element getrennt (nach aussen sind die Wassermengen wärmeisoliert). Das Peltier-Element wird elektrisch angetrieben und pumpt Entropie vom kälteren in das wärmere Wasser. Das Element funktioniert so, dass eine kalte und eine heisse Seite produziert werden.
- Wir betrachten einen bestimmten Moment. Werte für Temperaturen, den elektrischen Strom und Widerstand sind in der Tabelle gegeben.

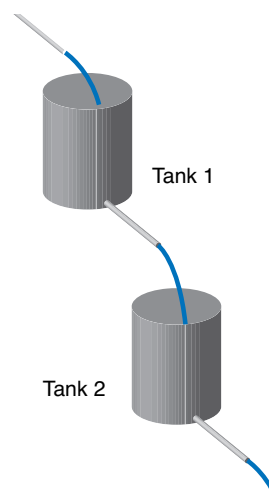
Table 3: Depth versus time

t / s	y / cm
0	0
0.04	0.5
0.08	1.6
0.12	3.9
0.16	6.4
0.20	9.3
0.24	12.3
0.28	15.5
0.32	18.6
0.36	21.9
0.40	25.1
0.44	28.3
0.48	31.5
0.52	34.7

Table 4: Daten zu Wasser und Peltier-Element

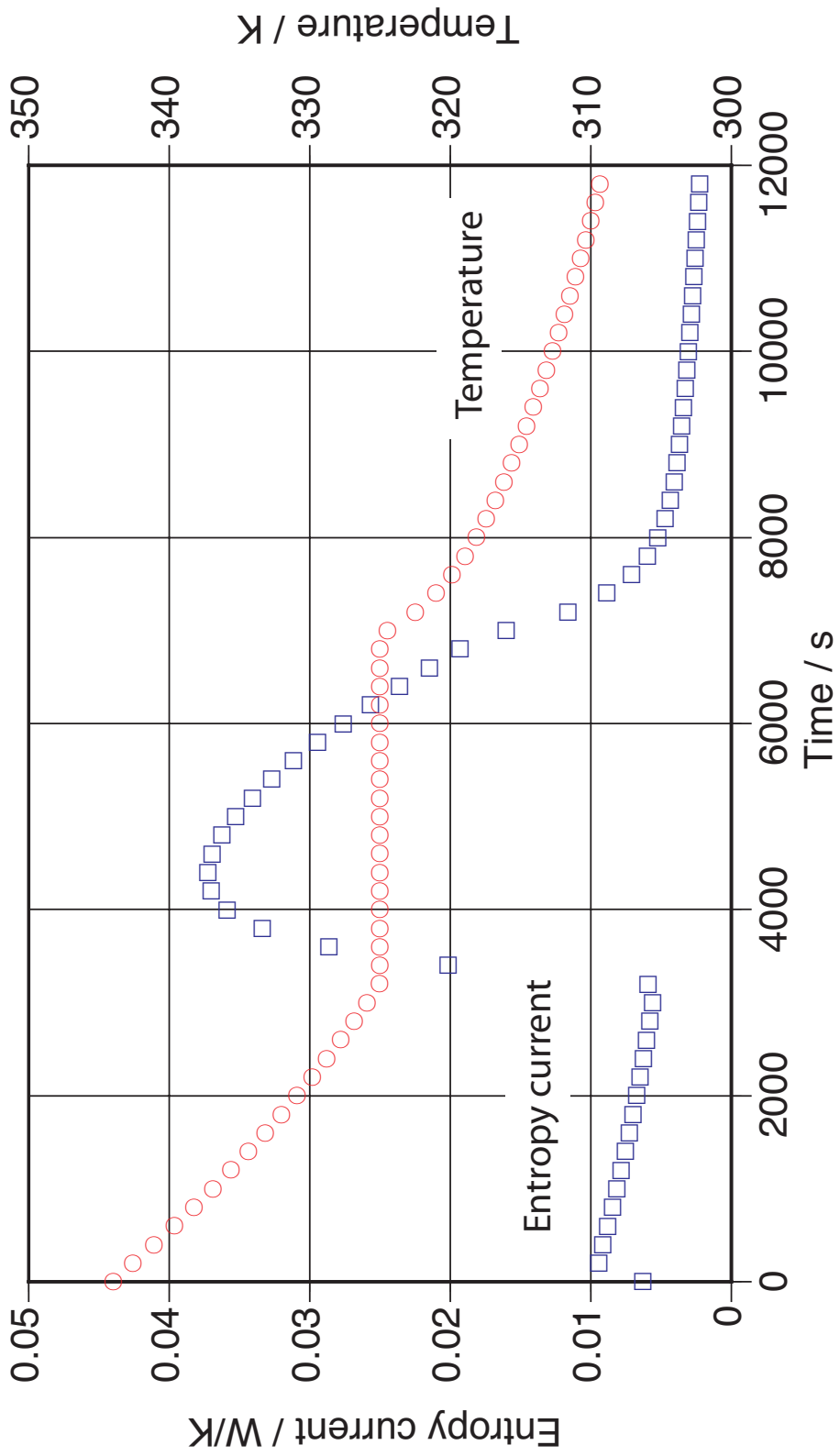
	Kalt	Heiss
Temperatur Wasser	295.7 K	301.7 K
Temperatur Peltier-Element	294.5 K	303.4 K
Entropiestrom in/aus Wasser	0.0122 W/K	0.0169 W/K
Elektrischer Strom durch Element	1.02 A	
Elektrischer Widerstand des Elements	0.98 Ω	

- a. Schätzen Sie die Entropieproduktionsrate als Folge des elektrischen Prozesses ab.
 - b. Der Entropiestrom aus dem kalten Wasser ist 0.0122 W/K, der Entropiestrom in das warme Wasser ist 0.0169 W/K. Wie gross ist die totale Entropieproduktionsrate im System? Wieviel ist das verglichen mit der elektrisch produzierten Entropie?
 - c. Wenn der ganze Prozess vollkommen reversibel verlaufen würde, wieviel Energie müsste man dann pro Sekunde bereitstellen, um den Entropiestrom von 0.0122 W/K vom kalten in das heisse Wasser zu pumpen?
 - d. Die Spannung, die das Peltier-Element speist, beträgt 1.5 V. Wie gross ist also der Wirkungsgrad des Peltier-Elements?
7. Für die folgenden Beispiele sind Bilanzgesetze gesucht. Begründen Sie kurz Ihre Antworten.
- a. In Tank 1 befindet sich Salzwasser. In Tank 2 ist ursprünglich nur reines Wasser. Für welche Grössen muss man Bilanzen für ein minimales dynamisches Modell des Systems aufstellen. Das Wasser ist in beiden Tanks immer durchmischt. (Sie müssen die Gleichungen nicht schreiben.)
 - b. Anfangs ist das Wasser in Tank 1 in Aufgabe a heiss, das Wasser in Tank 2 ist kalt. Braucht es nun weitere Bilanzen? Wenn ja, wofür?
 - c. Zwei Gleiter mit je einem Magneten (die sich abstossen können), bewegen sich auf einer horizontalen Schiene aufeinander zu. Schreiben Sie die Bilanzgleichungen für den horizontalen Impuls für die beiden Gleiter separat hin (für ein dynamisches Modell). Berücksichtigen Sie Reibung mit der Unterlage, und die Wirkung der Magnete.
 - d. Nehmen Sie die beiden Gleiter in Aufgabe c als ein einziges System. Wie lautet die Bilanzgleichung für den horizontalen Impuls (in dynamischer Form)?



- e. Schreiben Sie die Entropiebilanzgleichung für ein bewohntes Haus im Winter auf (dynamische Form). Erklären Sie die einzelnen Terme.
 - f. Wie lautet die Ladungsbilanzgleichung für einen Knoten in einer elektrischen Schaltung?
8. Bestimmung der hydraulischen Parameter (Induktivität und Kapazität) der Aorta eines Menschen. Nehmen Sie an, die Herzfrequenz sei 60/Minute. Mit jedem Herzschlag werden 70 ml Blut in die Aorta befördert. Länge der Aorta: 70 cm. Durchmesser der Aorta: 2.5 cm. Dichte des Blutes: 1060 kg/m^3 . Unterer Wert des Blutdrucks: 85 mmHg, oberer Wert: 120 mmHg.
- a. Stellen Sie sich die Aorta als gleichmässig dicken Schlauch vor. Wie gross ist die hydraulische Induktivität dieses Systems?
 - b. Nehmen Sie an, dass die Schwingungsfrequenz der Aorta auf die mittlere Frequenz des Herzens abgestimmt ist (damit sich die Aorta auf natürliche Art im gleichen Rhythmus spannt und entspannt wie das Herz). Benutzen Sie diese Annahme, um die Kapazität der Aorta zu bestimmen.
 - c. Wenn die 70 ml Blut mit einem Herzschlag in die Aorta gehen, dann geht der Blutdruck vom unteren auf den oberen Wert. Bestimmen Sie aus diesen Angaben die hydraulische Kapazität der Aorta, und vergleichen Sie mit dem Ergebnis aus b.

Problem 3



ASSESSMENTPRÜFUNG 2005

Blatt 1		Abteilung:	MB
		Jahr:	2005
		Experten:	
Klassen:	MB1a	Datum:	7.9.2005
Lehrer:	Fuh	Zeit:	8:00 – 11:00

LÖSUNGEN ZUR SCHRIFTLICHE PRÜFUNG IN PHYSIK

ERLAUBTE HILFSMITTEL: Eigene Zusammenfassung und Bücher, Taschenrechner

1. Intraocular pressure

a. The left side of

$$\log_{10} \left(\frac{p}{p_o} \right) = K \Delta V$$

does not have a dimension. Therefore, $K \Delta V$ must be dimensionless, and $[K] = 1/[V] = 1/\mu\text{l}$.

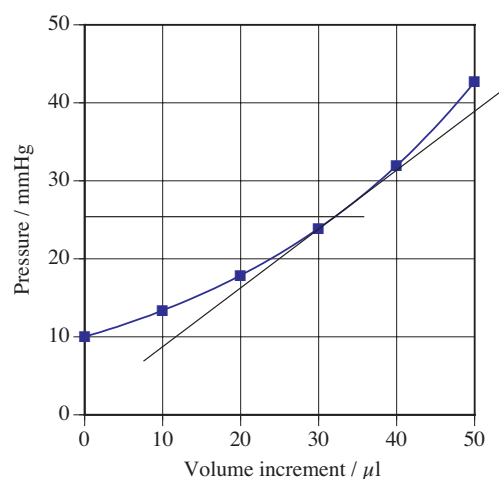
b. The definition of the ocular rigidity coefficient leads to

$$p = p_o 10^{K \Delta V}$$

Results can be found in the table. Graph:

Table 5: Volume-pressure relation

$\Delta V / \mu\text{l}$	p / mmHg
0	0
10	13.4
20	17.9
30	23.9
40	31.9
50	42.7



Verteiler

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

c. The elastance is equal to the slope of the tangent to the pV -relation:

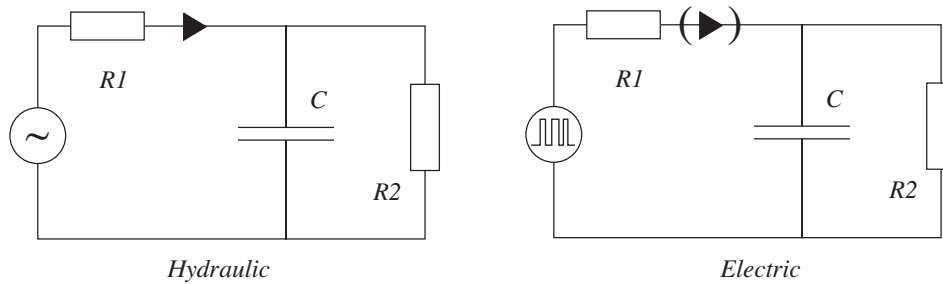
$$\alpha_V = \frac{29.5 \text{ mmHg}}{40 \text{ } \mu\text{l}} = 0.74 \frac{\text{mmHg}}{\mu\text{l}}$$

$$\alpha_V = 0.74 \frac{\text{mmHg}}{\mu\text{l}} = 0.74 \cdot 136 \cdot 10^9 \cdot 0.74 \frac{\text{Pa}}{\text{m}^3} = 1.01 \cdot 10^{11} \frac{\text{Pa}}{\text{m}^3}$$

$$C_V = \frac{1}{\alpha_V} = 0.99 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{Pa}}$$

2. Hydraulic and electric models

a.



b. The models are basically the same. There are small differences in parts that do not change the fundamental similarity. The drives (pump or battery) operate differently, and there may not be a diode (valve) in the electric example. R_1 is either the flow resistance from the left ventricle out into the aorta, or the internal resistance of the battery. R_2 is the load on both cases.

c. If we start with the law of balance of charge of the capacitor, the rest of the necessary equations follow immediately:

$$\frac{dQ}{dt} = I_{Q, \text{bat}} - I_{Q, \text{load}}$$

$$Q = CU_C$$

$$I_{Q, \text{bat}} = \frac{1}{R_1} (U_B - U_C) \text{ if } (U_B - U_C) > 0, \text{ else } 0$$

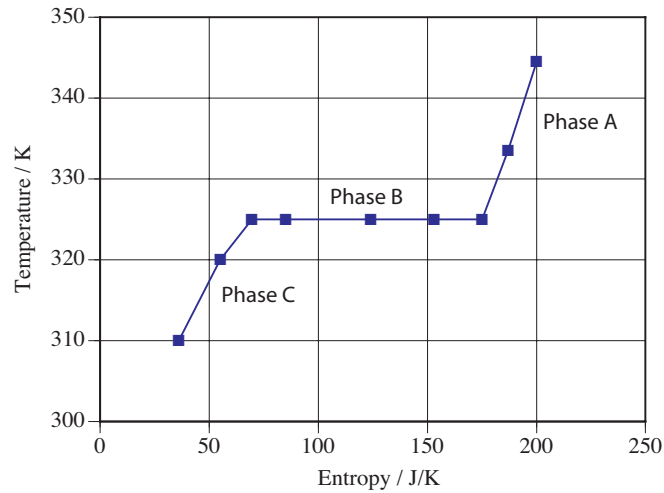
$$I_{Q, \text{load}} = \frac{1}{R_2} U_C$$

3. Cooling substance

a. The change of entropy of the substance is equal to the area between the IS -curve and the t -axis. Results are given in the table.

t	ΔS	S	T	t	ΔS	S	T
0		200	344.5	6000	-39	85	325
3200	-25	175	325	6800	-15.5	69.5	325
4000	-22	153	325	7600	-15.5	54	320
4800	-29	124	325	12000	-18	36	310

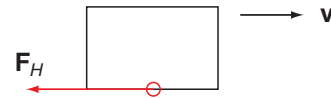
b. *TS* diagram



c. The substance melts during Phase B. We can determine the entropy capacitance of the solid substance (slope of Phase C), the entropy capacitance of the liquid substance (Phase A), the temperature of phase change, and the entropy of fusion ($\Delta S/\Delta m$ for Phase B).

4. Decelerating car and flywheel

a. In the horizontal direction, there is a single force acting upon the car (if we neglect air resistance). This force comes from the ground: Static friction is responsible for slowing down the car.



Since the acceleration of the car is constant, this force is constant. It is:

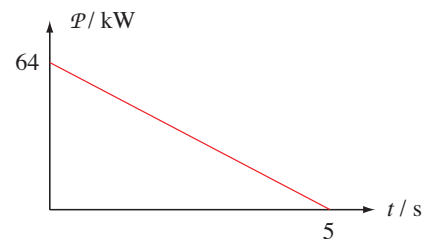
$$ma = F_H$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{72}{3.6 \cdot 5} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 4.0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \Rightarrow F_H = 3200\text{N}$$

b. Power of process of breaking:

$$\mathcal{P}_{\text{breaking}} = vF_H$$

$$\mathcal{P}_{\text{max}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} 3200\text{N} = 64\text{kW}$$



c. The energy released is equal to the area under the P - t curve in the diagram of b, and it is equal to the initial kinetic energy:

$$W_{\text{breaking}} = \frac{1}{2} m v_{\text{max}}^2 = \frac{1}{2} 800 \cdot 20^2 \text{ J} = 160\text{kJ}$$

If we want to store the energy released if this car brakes from a speed of 140 km/h, the energy is 4 times the value calculated: 640 kJ.

If the flywheel is a solid disk, the energy it can store is expressed by

$$\Delta W = \frac{1}{2} J \omega^2 = \frac{1}{2} \frac{1}{2} m R^2 \omega^2 = \frac{1}{4} \rho \pi R^2 d R^2 \omega^2 = \frac{1}{4} \rho \pi d R^4 \omega^2$$

If we make the wheel of steel with a radius of 0.20 m and a thickness of 0.10 m, the maximum angular speed to store the required energy would be

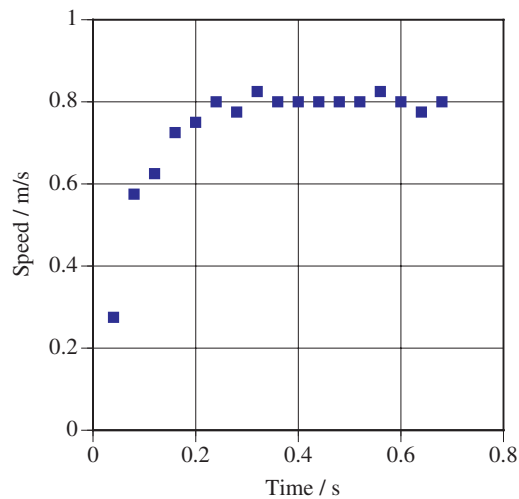
$$\omega = \sqrt{\frac{4 \Delta W}{\rho \pi d R^4}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 640 \cdot 10^3}{7900 \cdot \pi \cdot 0.10 \cdot 0.20^4}} \frac{1}{s} = 803 \frac{1}{s}$$

The number of revolutions per minute would then be 7700 rpm which does not sound totally impossible. We may have to design the wheel a little larger, though.

d. Since $I_{W,rot} = \omega I_L$, and $I_{W,rot}(0) = \mathcal{P}_{breaking}(0)$, and $\omega(0) = 0$, the torque I_L would have to be infinitely large. There is a clear problem. It might help to have the wheel rotate at least at low speeds all the time.

5. Steel ball in rape seed oil

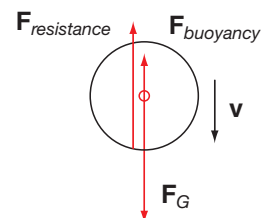
a.



A smooth function could be of the form $v_{max}(1 - \exp(-t/\tau))$, where $v_{max} = 0.80$ m/s.

b.

$$\begin{aligned} \dot{p} &= F_G - F_B - F_R \\ p &= m\dot{v} \\ F_G &= mg \\ F_B &= \rho_{oil} V_{ball} g = \rho_{oil} \frac{4}{3} \pi r^3 g \\ F_R &= f\dot{v} \\ \Rightarrow m\dot{v} &= mg - \rho_{oil} \frac{4}{3} \pi r^3 g - f\dot{v} \end{aligned}$$



c.

$$\begin{aligned}\dot{v} = 0 &\Rightarrow f = \frac{1}{v_{max}} \left(mg - \rho_{oil} \frac{4}{3} \pi r^3 g \right) \\ &= \frac{1}{0.80} \left(0.00209 \cdot 9.81 - 920 \frac{4}{3} \pi \cdot 0.004^3 \cdot 9.81 \right) \\ &= 0.023 \text{ N} \cdot \text{s/m}\end{aligned}$$

6. Peltier device

a. We use the electric power and the average temperature at which dissipation takes place:

$$\Pi_S \approx \frac{\mathcal{P}_{diss}}{T_{av}} = \frac{RI_Q^2}{\frac{1}{2}(T_{P,low} + T_{P,high})} = \frac{0.98 \cdot 1.02^2}{299} \frac{\text{W}}{\text{K}} = 3.41 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

b. Since entropy is stored only in the two bodies of water, the difference of the flows into and out of them must be equal to the total entropy production rate:

$$\begin{aligned}\Pi_{S,tot} &= I_{S2} - I_{S1} = 0.0047 \frac{\text{W}}{\text{K}} = 4.7 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{K}} \\ \frac{\Pi_{S,el}}{\Pi_{S,tot}} &= 0.73\end{aligned}$$

c. Lifting entropy from the temperature of the cold water to the temperature of the warmer water:

$$\mathcal{P}_{pump} = \Delta T_{water} I_S = 6 \text{ K} \cdot 0.0122 \frac{\text{W}}{\text{K}} = 0.073 \text{ W}$$

d. Real electric power (input):

$$\mathcal{P}_{el} = UI_Q = 1.5 \cdot 1.02 \text{ W} = 1.53 \text{ W}$$

Efficiency: Ratio of what it would take ideally, to what it actually takes:

$$\eta = \frac{0.073 \text{ W}}{1.53 \text{ W}} = 0.048 = 4.8\%$$

7. Laws of balance

a. Volume of water in tank 1, volume of water in tank 2, quantity of salt in tank 1, quantity of salt in tank 2.

b. Entropy (or energy) of water in tank 1, entropy (or energy) of water in tank 2.

c.

$$\begin{aligned}\dot{p}_1 &= F_{mag,1} + F_{R1} \\ \dot{p}_2 &= F_{mag,2} + F_{R2}\end{aligned}$$

d.

$$\dot{p}_{tot} = F_{R1} + F_{R2}$$

e.

$$\dot{S} = -I_{S,outflow} + \Sigma_{S,rad} + II_{S,rad} + II_{S,oven} + II_{S,persons}$$

Entropy production due to oven (and other appliances), persons, and radiation. Entropy inflow due to radiation (not much), entropy outflow due to temperature difference.

f.

$$0 = I_{Q1} + I_{Q2} + I_{Q3} + \dots$$

8. Human aorta

a. Hydraulic inductance:

$$L = \frac{\rho l}{A} = \frac{\rho l}{\pi r^2} = \frac{1060 \cdot 0.7 \text{ Pa}\cdot\text{s}}{\pi \cdot 0.0125^2 \text{ m}^3} = 1.5 \cdot 10^6 \frac{\text{Pa}\cdot\text{s}}{\text{m}^3}$$

b. The oscillatory period of the fluid in the aorta should be equal to the heart beat: 1.0 s:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$
$$C = \frac{T^2}{4\pi^2 L} = \frac{1.0 \text{ m}^3}{4\pi^2 \cdot 1.5 \cdot 10^6 \text{ Pa}} = 1.7 \cdot 10^{-8} \frac{\text{m}^3}{\text{Pa}}$$

c.

$$\Delta V = C\Delta p$$
$$C = \frac{\Delta V}{\Delta p} = \frac{70 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{136.35 \text{ Pa}} = 1.47 \cdot 10^{-8} \frac{\text{m}^3}{\text{Pa}}$$

The results in b and c are fairly similar. The idea that the aorta is in resonance with the heart basically fits.