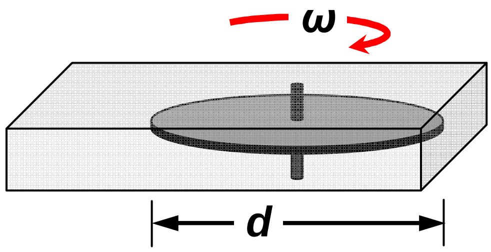
Wintersemester	2010/2011	Blatt 1 (von 6)
Studiengang:	BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach:	Physik 2	Fachnummer: 2012 *(2011)*
Hilfsmittel:	Manuskript, Literatur, Taschenrechner	Zeit: 120 Minuten

Gesamtpunktzahl: 120

<u>Aufgabe 1:</u> Externe Festplatte **(20 Punkte)**

Eine externe Festplatte besteht aus einem stabilen Gehäuse mit darin drehbar gelagerter Scheibe als Datenträger. Sie wird von einem Elektromotor in Rotation versetzt, der direkt über den USB-Anschluss mit Strom versorgt wird.

Die Scheibe einer solchen 2.5'' Festplatte rotiert mit der Nenndrehzahl von 7200 Umdrehungen pro Minute, ihre Dichte sei homogen, ihre Achse masselos.



a) Welchen Wert hat die Winkelgeschwindigkeit ω ?

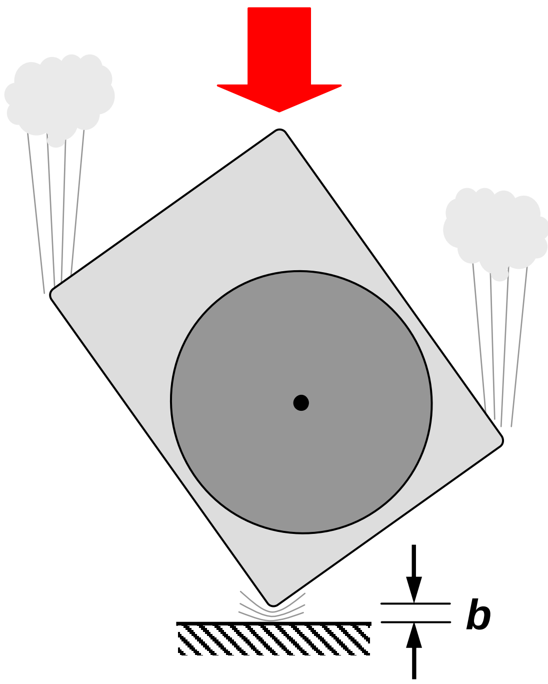
b) Welche Geschwindigkeit hat ein Punkt am Rand der Scheibe und welche Beschleunigung wirkt auf ihn (bitte jeweils Betrag und Richtung angeben) ?

Ein USB-Anschluss liefert bei 5 V Spannung einen Dauerstrom von 500 mA.

c) Welche maximale mechanische Leistung P_{max} steht zum Antrieb der Scheibe bereit, wenn der Motor einen Gesamtwirkungsgrad von 60% hat ?

d) Welche Mindestzeit ist nötig, um die Scheibe aus der Ruhe auf die Nenndrehzahl zu bringen ?

Die Festplatte fällt aus der Ruhe 75 cm tief auf einen harten Boden. Aufgrund plastischer Deformation der gummierten Außenseite des Gehäuses beträgt der effektive Bremsweg nach dem ersten Bodenkontakt b = 0,1 mm, was den Stoß etwas abmildert.



e) Mit welcher Geschwindigkeit schlägt sie auf ?

f) Während der Deformation ist die Bremsverzögerung konstant. Welchen Betrag hat sie ?

g) Welche Kraft wirkt auf die Scheibenlagerung ?

Angaben:

Durchmesser der Scheibe	d = 6,35 cm
Masse der Scheibe	m = 15 g

Die Teile a), b) sowie c), d) und e), f), g) sind jeweils unabhängig voneinander lösbar.

Lösungsvorschlag ***Festplatte*** ***Autor H Käß***

Radius der Festplatte $r = d / 2 = 3{,}175$ cm

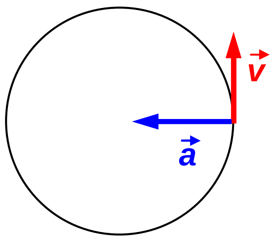
a) Winkelgeschwindigkeit bei Drehzahl n $\omega = 2\cdot\pi\cdot n = 2\cdot\pi\cdot 7200 / 60\ \text{s} = \mathbf{753{,}99\ rad/s}$

b) Bahngeschwindigkeit v am Plattenrand : $v = \omega\cdot r$ $= 753{,}99\cdot(0{,}0635/2)$ m/s

$= \mathbf{23{,}94\ m/s} = 86{,}2$ km/h

Zentripetalbeschleunigung a am Rand : $a = v^2 / r$ $= 573{,}07\ \text{m} / 0{,}03175\ \text{s}^2$

$= \mathbf{18049{,}5\ m/s^2} = 1840$ g



Geschwindigkeitsvektor liegt tangential

Beschleunigungsvektor zeigt zum Mittelpunkt

c) Maximale Antriebsleistung $P_{max} = 0{,}6\cdot P_{el} = 0{,}6\cdot U\cdot I = 0{,}6\cdot 5\cdot 0{,}5$ VA = **1,5 W**

d) Beschleunigungsarbeit = Rotationsenergie $W_B = E_{rot} = ½\ J\cdot\omega^2$ (= 2,149 J)

Massenträgheitsmoment Scheibe (homogen) J $= ½\ m\cdot r^2 = ½\ 15\ \text{g}\ 10{,}08\ \text{cm}^2$

$= 0{,}756\cdot 10^{-5}\ \text{kgm}^2$

Mit $E_{rot} = P_{max}\cdot\Delta t$ folgt die Mindestdauer Δt $= E_{rot}/P_{max} = \mathbf{1{,}433\ s}$

e) Freier Fall aus Ruhe $h = ½\ g\cdot t^2$ Falldauer $t_F = \sqrt{2\cdot h / g} = \sqrt{1{,}5/ 9{,}81}\ \text{s} = 0{,}391$ s

Aufprallgeschwindigkeit v_0 $v_0 = g\cdot t_F = \mathbf{3{,}836\ m / s}$

f) Weg-Zeit-Gesetz für Bremsweg s $s(t) = v_0\cdot t - ½\ a_B\cdot t^2$

Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz $v(t) = v_0 - a_B\cdot t$

Die Bremsdauer ist $t_B = v_0/a_B$ somit $s(t_B) = s_B = (v_0)^2/a_B - ½\ (v_0)^2/a_B = ½\ (v_0)^2/a_B$

und die Bremsverzögerung beträgt $a_B = (v_0)^2/\ (2\cdot s_B)$ $= 3{,}84^2 / 0{,}2\cdot 10^{-3}\ \text{m/s}^2$

$= \mathbf{73574{,}5\ m/s^2} = 7500$ g

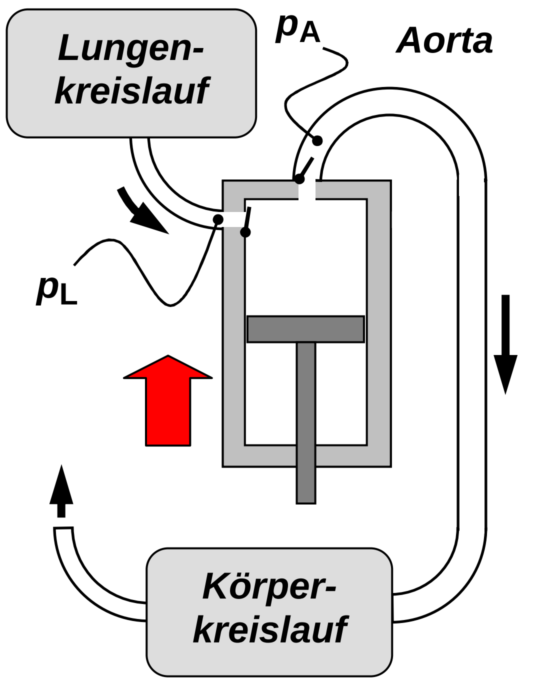
g) Lagerkraft = Bremskraft auf Scheibe $F = m\cdot a_B = \mathbf{1103{,}6\ N}$

Die Lager der Festplatte werden bei einem solchen Sturz - zum Beispiel auf einen harten Steinboden - mechanisch ausgesprochen stark beansprucht, was leicht zu einer irreversiblen Beschädigung führen kann.

Wintersemester	2010/2011	Blatt 2 (von 6)
Studiengang:	BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach:	Physik 2	Fachnummer: 2012 *(2011)*

<u>Aufgabe 2:</u> Herz und Kreislauf **(20 Punkte)**

Das Herz pumpt mit jedem Schlag Blut, das im Lungenkreislauf Sauerstoff aufgenommen hat, über die Aorta (Hauptschlagader) in den Körperkreislauf. Sein Schlagvolumen beträgt 70 cm^3, im Mittel schlägt das Herz 65 mal pro Minute. In einem stark vereinfachten Modell wird das Herz als einfache Kolbenpumpe mit zwei Ventilklappen betrachtet (siehe Skizze).



<u>Angaben</u>:

In der Medizin wird der Blutdruck traditionell in der – nicht mehr zulässigen – Einheit „Torr“ angegeben, „1 Torr“ ist der hydrostatische Druck einer 1 mm hohen Quecksilbersäule.

ρ_B = 1,00 g/cm^3	*Dichte von Blut*
ρ_{Hg} = 13,55 g/cm^3	*Dichte von Quecksilber*
η = $4{,}5 \cdot 10^{-3}$ Pa s	*Viskosität Blut*
p_L = „0 Torr“	*Blutdruck Einlass Herz*
p_A = „120 Torr“	*Blutdruck Beginn Aorta*
d_A = 2,5 cm	*Durchmesser Aorta*

a) Das unter dem Druck p_L eingeströmte Blut wird mit dem am Beginn der Aorta herrschenden Druck p_A in die Schlagader gepresst. Wie groß ist p_A in SI-Einheiten ?

b) Welchen Wert hat der Volumenfluss im Blutkreislauf ?

c) Welche Arbeit gibt das Herz pro einzelnem Schlag sowie während eines Tages ab ?

d) Welche mittlere mechanische Leistung gibt das Herz demnach ab ?

e) Wie groß ist die mittlere Strömungsgeschwindigkeit in der Aorta ?

f) Ist die Strömung in der Aorta laminar oder turbulent ? Anwort bitte begründen !

g) Ablagerungen an der Innenwand reduzieren den Innendurchmesser der Aorta. Angenommen, die Druckverhältnisse bleiben gleich, welcher Volumenfluss resultiert dann aus einer solchen Ablagerung mit der konstanten Schichtdicke 2 mm ?

Lösungsvorschlag ***Kreislauf*** ***Autor H Käß***

a) Umrechnung 1 Torr entspricht 1 mm Quecksilbersäule

also 1 Torr = $\rho_{Hg} \cdot g \cdot h$ = 13,55·10^3 kg/m^3 9,81 m/s^2 1·10^{-3} m = 132,9 N/m^2

Damit ist p_A = 120 Torr in SI-Einheiten p_A = **15951,1 Pa** = 0,159 bar

b) Volumenfluss : V = 70 cm^3 65 / 60 s = **75,83 cm^3 / s** = 4,55 l / min = 273 l / h

c) Pumparbeit pro Schlag $W_1 = p_A \cdot \Delta V_1$ = 15951 N / m^2 ·70·10^{-6} m^3 = **1,117 J**

Pumparbeit pro Tag $W_d = p_A \cdot \Delta V_d$ = 15951 N / m^2 ·24·0,273 m^3 = **104,5 kJ**

d) Mittlere Leistung $P_m = W_d / 1$ d = 104,5 kJ / 86400 s = 1,2096 W = **1,21 W**

e) Für den Volumenfluss gilt $\Delta V / \Delta t = A \cdot v_m$

mit der Querschnittsfläche $A = \pi \cdot d_A^2 / 4$ = 4,9087·10^{-4} m^2

folgt daraus v_m = 75,83·10^{-6} m^3 / 4,9087·10^{-4} m^2 s = **0,1545 m/s**

f) Reynoldszahl in Aorta $Re = \rho_B \cdot d_A \cdot v_m / \eta$ =

= (1000 kg/m^3 2,5·10^{-2} m 0,154 m/s)/4.5·10^{-3} Pa·s

= **858**

Die **Reynoldszahl** des Blutes in der Aorta bleibt **unter dem kritischen Wert** von 2320, daher ist die **Strömung laminar**

g) Gesetz von Hagen-Poiseuille für Volumenfluss $FL = \Delta V / \Delta t$ durch Rohr mit Radius R

$\Delta V / \Delta t = (\pi \cdot \Delta p / 8 \cdot \eta \cdot l)\, R^4$ also $FL = \Delta V / \Delta t \sim R^4$

Der Radius verringert sich von R_0 auf $R_1 = R_0$ – 0,2 cm = 1,05 cm

Für das Verhältnis der Volumenflüsse gilt $FL_0 / FL_1 = (R_0 / R_1)^4$ = (1,25 / 1,05)^4

Das bedeutet eine Halbierung $FL_1 = FL_0$ / 2,0085 = **37,75 cm^3 / s** = 2,27 l / min

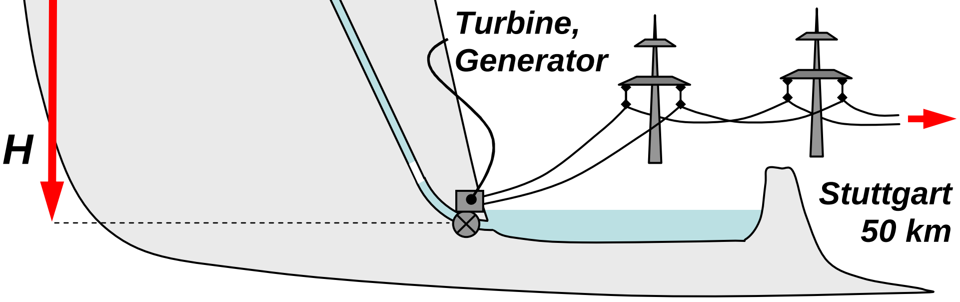
Wintersemester	2010/2011	Blatt 3 (von 6)
Studiengang:	BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach:	Physik 2	Fachnummer: 2012 *(2011)*

<u>Aufgabe 3:</u> Pumpspeicherwerk **(20 Punkte)**

Das Pumpspeicherwerk Glems bei Metzingen wurde gebaut, um kurzzeitige Bedarfsspitzen in der Stromversorgung der Stadt Stuttgart auszugleichen. Vom Oberbecken läuft eine Druckwasserleitung zur stromerzeugenden Turbine, die in das Unterbecken ausläuft. Der Wasserinhalt des Oberbeckens steht vollständig für die Stromerzeugung zur Verfügung.

<u>Angaben</u>:

$V_o = 900000\ m^3$	*Wasserinhalt Oberbecken*
$H = 283\ m$	*mittlere Fallhöhe*
$P_{el} = 90\ MW$	*elektrische Leistung*
$T_{leer} = 6{,}5\ h$	*maximale Laufzeit*
$\rho_{Al} = 2{,}8 \cdot 10^{-8}\ \Omega m$	*Spezifischer Widerstand Al*
$n_{Al} = 1{,}8 \cdot 10^{23}\ cm^{-3}$	*Elektronendichte in Al*
$e = 1{,}60 \cdot 10^{-19}\ C$	*Elementarladung*



a) Welche potentielle Energie ist in dem vollständig gefüllten Oberbecken gespeichert ?

b) Bei Volllast wird die elektrische Leistung P_{el} = 90 MW abgegeben, das Oberbecken ist dann nach T_{leer} = 6,5 Stunden entleert. Welchen Gesamtwirkungsgrad hat die Anlage ?

Die erzeugte Spannung wird auf 110 kV transformiert und über eine 50 km lange Leitung nach Stuttgart geleitet. Diese wird nachfolgend als einfache zweiadrige Leitung betrachtet. Die Adern sind zylindrisch, haben 2 cm Durchmesser und bestehen aus Aluminium (Al).

c) Welcher Strom fließt bei Volllast in der Hochspannungsleitung ?

d) Wie groß ist die Stromdichte in der Leitung und mit welcher mittleren Geschwindigkeit bewegen sich darin die Elektronen ?

e) Welchen Gesamtwiderstand hat die Leitung, welche Spannung fällt daran ab und welche Leistung geht darin verloren ?

f) Ein eifriger Kostensenker schlägt vor, den Transformator einzusparen und den Generator (Ausgangsspannung 10000 V) direkt an die Leitung anzuschließen. Wäre so eine wirtschaftliche Übertragung der elektrischen Leistung noch möglich (bitte begründen) ?

Lösungsvorschlag ***Pumpspeicherwerk*** ***Autor H Käß***

a) Gespeicherte Energie $E_{pot} = m \cdot g \cdot H = \rho \cdot V_o \cdot g \cdot H =$

$= 1000\ kg/m^3\ 900000\ m^3\ 9{,}81\ m/s^2\ 283\ m$

$= \mathbf{2{,}4986 \cdot 10^{12}\ J} = 694000\ kWh = 694\ MWh$

b) Abgegebene elektrische Arbeit $W_{el} = P_{max} \cdot T_{leer} = 90\ MW \cdot 6{,}5\ h = 585\ MWh$

Gesamtwirkungsgrad damit $\eta = W_{el} / E_{pot} = 585\ MWh / 694\ MWh = 0{,}843 = \mathbf{84\%}$

c) Volllast $P_{max} = U \cdot I_{max}$ $I_{max} = P_{max} / U = 90 \cdot 10^6\ W / 1{,}1 \cdot 10^5\ V = \mathbf{818{,}18\ A}$

d) Stromdichte $j = I_{max} / A = I_{max} / (\pi \cdot r^2) = 818{,}2\ A / (\pi \cdot 10^{-4}\ m^2) = \mathbf{2{,}604 \cdot 10^6\ A / m^2}$

Mit $j = e \cdot n_{Al} \cdot v$ ergibt sich

$v = j / (e \cdot n_{Al}) = (2{,}604 \cdot 10^6\ A / m^2) / (1{,}60 \cdot 10^{-19}\ As\ 1{,}8 \cdot 10^{29} m^{-3}) = \mathbf{0{,}0903\ mm/s}$

e) Gesamtwiderstand $R = \rho_{Al} \cdot L / A = 2{,}8 \cdot 10^{-8}\ \Omega m\ 100 \cdot 10^3\ m / (\pi \cdot 10^{-4}\ m^2) = \mathbf{8{,}913\ \Omega}$

Spannungsabfall $U_{loss} = R \cdot I_{max} = \mathbf{7292{,}2\ V}$

Verlust in Leitung $P_{loss} = U_{loss} \cdot I_{max} = \mathbf{5{,}9663\ MW}$

f) Direkter Anschluss bei konstanter Leistungsabgabe bedeutet, dass wegen der nun niedrigeren Spannung ein höherer Strom fließen sollte, denn $P_{el} = U \cdot I$

Also müsste sein $I_{direkt} = P_{el} / U_{direkt} = 90\ MW / 10\ kV = 9000\ A$

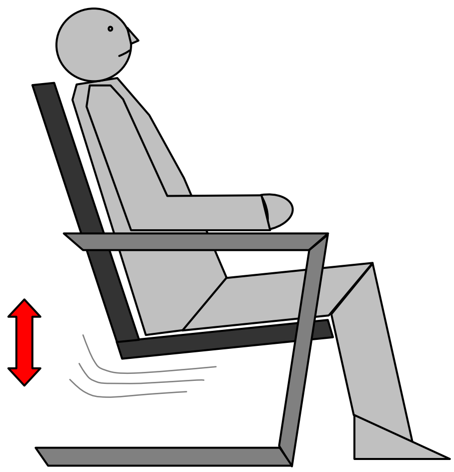
Dann wäre der Spannungsabfall $U_{loss} = I_{direkt} \cdot R = 80217\ V$

Dies führt offenkundig zu einem Widerspruch, denn der Generator liefert ja selbst nur 10000 V. **Eine Übertragung der elektrischen Leistung ist so gar nicht möglich !**

Wintersemester	2010/2011	Blatt 4 (von 6)
Studiengang:	BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach:	Physik 2	Fachnummer: 2012 *(2011)*

<u>Aufgabe 4:</u> Freischwinger **(20 Punkte)**

Nach langem Arbeitstag heimgekehrt, lässt sich ein Ingenieur in einen Sessel vom Freischwinger-Typ fallen. Darin vollführt er einige in guter Näherung vertikal verlaufende Schwingungen mit rasch abnehmender Amplitude *(Skizze)*. Die ersten 9 Perioden kann er verfolgen, seiner Uhr zufolge dauern sie insgesamt 4 Sekunden.



Angaben:

m_i = 75 kg *Masse Ingenieur*
m_k = 23 kg *Masse Kind*

a) Der Ingenieur vermutet, dass es sich um harmonische Schwingungen eines Feder-Masse-Systems handelt. Wie kann er dies mit einfachen Mitteln überprüfen ?

b) Sein Kind freut sich, dass er endlich zuhause ist und klettert zu ihm auf den Sessel. Dieser führt mit Vater und Kind nun nur noch 8 Schwingungen in 4 Sekunden durch. Welche Werte haben die Schwingungsfrequenzen f_i und f_{ik} in den beiden Fällen ?

c) Welche bewegte Masse m_s hat der Sessel und wie groß ist seine Federkonstante c ?

Der mit Vater und Kind besetzte Sessel führe eine rein viskos gedämpfte Schwingung aus.

d) Nach 9 Perioden hat die Amplitude des Systems auf 5% des Anfangswerts abgenommen. Welche Werte haben Abklingkonstante δ und Dämpfungsgrad D des Systems ?

Lösungsvorschlag ***Freischwinger*** ***Autor H Käß***

a) Anregung von Schwingungen mit **verschiedenen Amplituden** und jeweiliges Messen der zugehörigen Schwingungsdauer. Wenn die **Schwingungsdauer dabei konstant** bleibt, handelt es sich um einen harmonischen Oszillator.

b) Ingenieur solo $f_i = 1 / T_i = 9 / 4\text{ s} = \mathbf{2{,}25\ Hz}$

Ingenieur mit Kind $f_{ik} = 1 / T_{ik} = 8 / 4\text{ s} = \mathbf{2{,}00\ Hz}$

c) 1. Kreisfrequenz $\omega_i = 2\cdot\pi\cdot f_i = \sqrt{c / (m_s + m_i)}$ (Sessel, Ingenieur)

2. Kreisfrequenz $\omega_{ik} = 2\cdot\pi\cdot f_{ik} = \sqrt{c / (m_s + m_i + m_k)}$ (Sessel, Ingenieur, Kind)

$4\cdot\pi^2\cdot f_i^2\ (m_s + m_i) = c$ (1)

$4\cdot\pi^2\cdot f_{ik}^2\ (m_s + m_i + m_k) = c$ (2)

Gleichsetzen (1) und (2) $(f_i / f_{ik})^2\ (m_s + m_i) = (m_s + m_i + m_k)$

Ausklammern $[\ (f_i / f_{ik})^2 - 1\ ]\ (m_s + m_i) = m_k$

Nach m_s auflösen $m_s + m_i = m_k / [\ (f_i / f_{ik})^2 - 1\ ]$

$m_s = m_k / [\ (f_i / f_{ik})^2 - 1\ ] - m_i$

$= 23\text{ kg} / [\ 1{,}2656 - 1\ ] - 75\text{ kg} = 86{,}59\text{ kg} - 75\text{ kg}$

$\mathbf{= 11{,}59\ kg}$

Federkonstante $c = 4\cdot\pi^2\cdot f_{ik}^2\ (m_s + m_i + m_k) = 4\cdot\pi^2\cdot 4\text{ s}^{-2}\ (11{,}59 + 75 + 23)\text{ kg}$

$= 17305{,}5\text{ kg / s}^2 = \mathbf{17305{,}5\ N/m}$

d) Viskos gedämpfte Schwingung mit $f_{ik} = 2$ Hz also $T_{ik} = 0{,}5$ s und $\omega_d = \omega_{ik}$

Offenbar gilt für die Amplituden $a(9\cdot T_{ik}) = 0{,}05\cdot a_0 = a_0\cdot\exp[\ -\delta\cdot 9\cdot T_{ik}]$

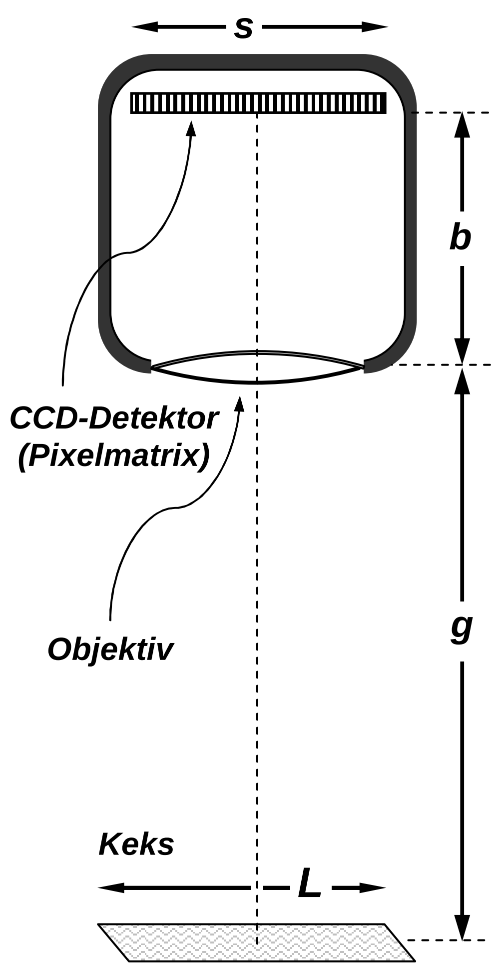
Die Abklingkonstante ist $\delta = -\ln(0{,}05) / (\ 9\cdot T_{ik}\ ) = \mathbf{0{,}6657\ 1/s}$

Mit $\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ folgt $\omega_0 = \sqrt{\omega_d^2 + \delta^2} = 12{,}584$ rad/s

und der Dämpfungsgrad $D = \delta / \omega_0 = \mathbf{0{,}0529}$

Wintersemester 2010/2011	Blatt 5 (von 6)
Studiengang: BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 2012 *(2011)*

Aufgabe 5: Kekskontrolle **(20 Punkte)**



Die Länge L auf einem Förderband liegender Kekse ist zu kontrollieren, ihr Sollwert beträgt 6 cm. Dazu werden sie in der Entfernung g = 30 cm vor dem Objektiv einer Digitalkamera vorbei geführt. Ein Keks idealer Länge soll auf 80 % der Seitenlänge s = 2,54 cm des CCD-Detektors in der Kamera abgebildet werden.

a) Welchen Abstand b zur Detektionsebene hat die Objektivlinse bei scharfer Abbildung ?

b) Welche Objektivbrennweite ist erforderlich ?

c) Entlang der Seitenlänge s hat der Detektor 2048 lichtempfindliche Pixel. Wie groß ist daher der Mindestfehler der so ermittelten einzelnen Messwerte für die Länge eines Kekses ?

Tatsächlich schwankt die in Pixeln ausgedrückte Bildlänge der Kekse auf dem Detektor um viel mehr als ein Pixel. Eine Messreihe ergibt folgende Einzelwerte:

1622, 1665, 1616, 1611, 1627, 1652, 1633,
1623, 1632, 1646, 1650, 1648, 1664, 1620

d) Wie groß sind Mittelwert, Standardabweichung und mittlerer Fehler des Mittelwerts dieser Reihe ?

Die Fehler für g und b sind Δg = 1 cm und Δb = 1 mm.

e) Wie lautet das gerundete Ergebnis (eine signifikante Stelle für den Fehler) für die Länge L der Kekse mit absoluter und relativer Fehlerangabe ?

Hinweis :

Das Objektiv ist als dünne Linse zu betrachten.

Lösungsvorschlag ***Kekskontrolle*** ***Autor H Käß***

a) Gewünschte Bildgröße $B = 0{,}8 \cdot 2{,}54$ cm $= 2{,}032$ cm

Aus $\beta = B\,/\,G = b\,/\,g = 0{,}3387$ $b = g \cdot B\,/\,G = 30$ cm $\cdot$ 2,032 cm / 6 cm = **10,16 cm**

b) Abbildungsgleichung $1\,/\,f = 1\,/\,g + 1\,/\,b = 1\,/\,0{,}1016$ m $+ 1\,/\,0{,}3$ m $=$

$= 13{,}176$ m^{-1} $= 13{,}18$ dpt

Brennweite des Objektivs damit $f = 0{,}0759$ m = **7,6 cm**

c) Mindestfehler für die Bildgröße B ist der Pixelabstand Δx

$\Delta B = \Delta x = 2{,}54$ cm / 2048 = 0,00124 cm = **12,40 µm**

Für die Gegenstandsgröße G ist daher der Mindestfehler

$\Delta G = \Delta x \cdot g\,/\,b = \Delta x\,/\,\beta = 12{,}4$ µm / 0,3387 = **36,61 µm**

d) Statistik für die Messreihe „Länge in Pixeln“ (Bezeichung mit a statt L wegen „Einheit“)

Mittelwert $\bar{a} = (1\,/\,N\,) \cdot \Sigma a_i =$ **1643,3 (Pixel)**

Standardabweichung $s_a = \sqrt{\Sigma(\,a_i - \bar{a}\,)^2\,/\,(N-1)} =$ **16,4 (Pixel)**

Mittlerer Fehler des Mittelwerts $\Delta\bar{a} = s_a\,/\,\sqrt{N} = 16{,}4\,/\,\sqrt{12} =$ **4,72 (Pixel)**

e) Die „Gegenstandsgröße G“ ist hier die Kekslänge L $L = G = B \cdot g\,/\,b$

Damit : $L = L(\bar{a}, g, b) = \Delta x \cdot \bar{a} \cdot g\,/\,b = 1643{,}3 \cdot 12{,}4$ µm $\cdot\ 30\,/\,10{,}16 =$ **60,17 mm**

An Fehlern gehen ein $\Delta g = 1$ cm (Gegenstandsweite)

$\Delta b = 0{,}1$ cm (Bildweite)

$\Delta\bar{a} = 4{,}72$ Pixel (Bildgröße)

Die Fehlerrechnung ist einfach, da ein reines Potenzgesetz vorliegt

relativer Größtfehler $\Delta L\,/\,L$ $= 1 \cdot |\Delta\bar{a}\,/\,\bar{a}| + 1 \cdot |\Delta g\,/\,g| + 1 \cdot |\Delta b\,/\,b| =$

$= 4{,}72\,/\,1643{,}3 + 1\,/\,30 + 0{,}1\,/\,10{,}16 =$

$= 0{,}0029 + 0{,}0333 + 0{,}0098 =$

$= 0{,}29\ \% + 3{,}33\ \% + 0{,}98\ \% = 4{,}60\ \%$

absoluter Größtfehler $\Delta L = L \cdot 0{,}0460 = 2{,}77$ mm

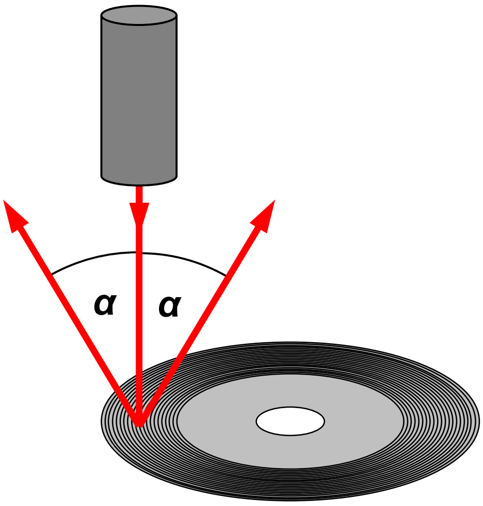
Angaben auf **eine** signifikante Stelle ***L*** **= (60 ± 3) mm** (absolut)

L **= 60 (1 ± 5%) mm** (relativ)

Wintersemester	2010/2011	Blatt 6 (von 6)
Studiengang:	BTB2 / CIB2	Semester 2
Prüfungsfach:	Physik 2	Fachnummer: 2012 *(2011)*

<u>Aufgabe 6:</u> Compact Disc **(20 Punkte)**

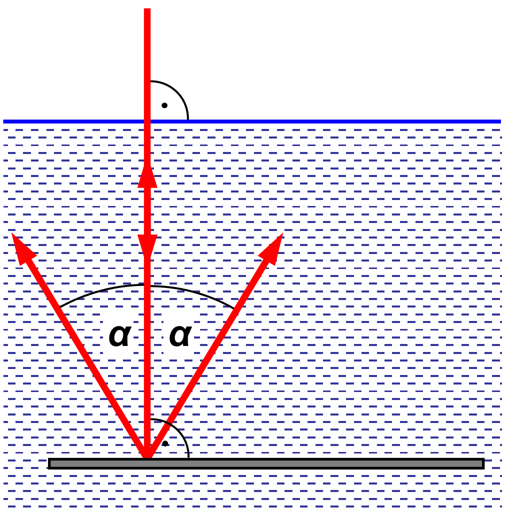
Seit Laserpointer für wenig Geld erhältlich sind, ist es sehr einfach geworden, Beugungsexperimente mit Licht vorzuführen. Als Beugungsobjekt bietet sich dabei eine Compact Disc (CD) an, deren Datenspuren ein gut geeignetes Reflexionsgitter bilden. Wird der Laserstrahl senkrecht darauf gerichtet, treten symmetrisch zur Einstrahlrichtung Beugungsmaxima in einer Ebene quer zur Richtung der Datenspuren auf (siehe obere Skizze).



a) Ein Laserpointer gibt rotes Licht der Wellenlänge 655 nm ab. Berechnen Sie Wellenzahl und Frequenz des Lichts.

b) Wird der Lichtstrahl auf eine CD gerichtet, treten Maxima 1. Ordnung unter Winkeln $\alpha = \pm 24°$ auf. Welchen Abstand haben die Datenspuren ?

c) Verwendet man einen grünen Laserpointer, bilden sich Maxima 1. Ordnung unter den Winkeln $\alpha = \pm 19°$. Welche Wellenlänge hat sein Licht ?



Das Experiment mit dem roten Laserpointer wird wiederholt, diesmal liegt die CD jedoch eben in einem Becken und ist vollkommen mit Wasser bedeckt (siehe untere Skizze).

d) Unter welchen Winkeln zur Einfallsrichtung treten nun Beugungsmaxima im Wasser auf ?

e) Welche dieser in die einzelnen Winkelrichtungen abgebeugten Strahlen lassen sich auch oberhalb der Wasseroberfläche beobachten ?

Angaben: *Lichtgeschwindigkeit in Luft / Vakuum* $c_0 = 3 \cdot 10^8$ m/s
Brechzahl von Wasser $n = 1{,}33$

Lösungsvorschlag ***Compact Disc*** ***Autor H Käß***

a) Aus $c = \lambda \cdot f$ folgt $f = c / \lambda = 3 \cdot 10^{8} / 655 \cdot 10^{-9}$ s $= \mathbf{4{,}58 \cdot 10^{14}}$ **Hz**

$= 458$ THz

Wellenzahl $k = 2 \cdot \pi / \lambda = 6{,}28 / 655 \cdot 10^{-9}$ m $= \mathbf{9{,}593 \cdot 10^{6}\ m^{-1}}$

$= 9{,}593 \cdot 10^{4}$ cm^{-1}

b) Gitterbeugung $d = 1 \cdot \lambda / \sin \alpha_1$ $= 655 \cdot 10^{-9}$ m / sin 24° =

$= 1{,}6104 \cdot 10^{-6}$ m = **1,61 µm**

c) Grüner Laser $\lambda = d \sin \alpha_1$ $= 1{,}6104 \cdot 10^{-6}$ m · sin 19° $= 524{,}3 \cdot 10^{-9}$ m **= 524 nm**

d) Im Wasser ist die Wellenlänge geringer $\lambda = \lambda_0 / n = 655$ nm / 1,33 = 492,5 nm

Beugungsmaxima im Wasser $\sin \alpha_1 = 1 \cdot \lambda / d = 492{,}5 \cdot 10^{-9} / 1{,}61 \cdot 10^{-6} = 0{,}3058$

2. und 3. Ordnung $\sin \alpha_2 = 2 \cdot \sin \alpha_1$ und $\sin \alpha_3 = 3 \cdot \sin \alpha_1$

Daraus $\boldsymbol{\alpha_1 = \pm 17{,}8°}$ $\boldsymbol{\alpha_2 = \pm 37{,}7°}$ $\boldsymbol{\alpha_3 = \pm 66{,}5°}$

e) Der Grenzwinkel α_g der Totalreflexion an der Grenzfläche Wasser / Luft folgt aus

$\sin \alpha_g = n_L / n_W = 1 / 1{,}33 = 0{,}752$ damit $\alpha_g = 48{,}75°$

Das bedeutet: Die gebeugten Strahlen **1. und 2. Ordnung** sind oberhalb der Wasseroberfläche **zu beobachten**, diejenigen der **3. Ordnung** dagegen **nicht**.

!! Schematisch !!