Klausur zur Klassischen Experimentalphysik III (Optik + Thermodynamik) am 16.02.2012

Name, Vorname:	Matrikelnummer:
Studiengang (Studienrichtung und angestrebter Abschluss, z.B. Geophysik-Bachelor):	
Wiederholungsprüfung? Nein ☐ Ja ☐	

Aufgabe	1	2	3	4	5	Σ	Note
Max. Punkte	6	7	6	8	8	35	
Erreichte Punkte							

Bitte jedes Blatt mit Namen versehen, jede Aufgabe ordentlich kennzeichnen und leserlich schreiben!

Aufgabe 1: (6 Punkte)

Unpolarisiertes Licht fällt in z-Richtung senkrecht auf zwei gekreuzte Polarisatoren, wobei der erste in x- der zweite in y-Richtung polarisiert. Zwischen beide Polarisatoren wird ein $\lambda/4$-Plättchen eingeschoben, das um den Winkel φ gegen die x-Achse gedreht werden kann.

a) Welcher Bruchteil der einfallenden Intensität I_0 passiert die Anordnung?

b) Zeichnen Sie die Abhängigkeit der durchgelassenen Intensität vom Winkel φ auf!

c) Was ändert sich, wenn statt des $\lambda/4$-Plättchen ein $\lambda/2$-Plättchen eingesetzt wird?

Aufgabe 2: (7 Punkte)

Zwei Glasplatten der Länge L = 80 cm werden an einem Ende direkt aufeinander gelegt. Am anderen Ende werden die Platten durch ein Haar der Dicke D = 0,1 mm getrennt. Die Platten werden senkrecht von oben mit parallelem, monochromatischem Licht der Wellenlänge λ = 750 nm beleuchtet und die entstehenden Interferenzstreifen im reflektierten Licht beobachtet (siehe Skizze unten). Die Dicke der Platten ist nicht relevant.

a) Liegt in der Nähe des Auflagepunktes der beiden Platten ein heller oder ein dunkler Streifen vor? Begründen Sie Ihre Antwort!

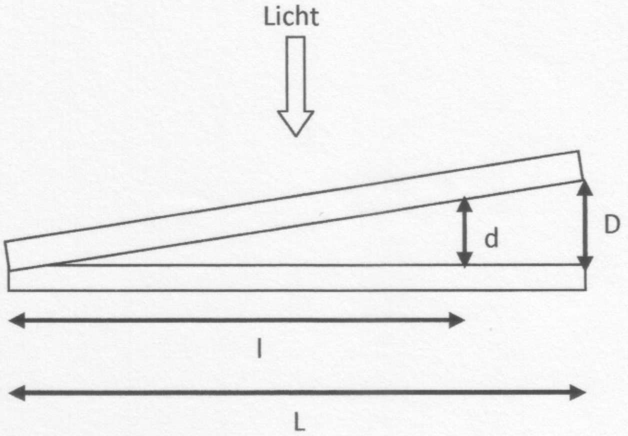
b) Berechnen Sie den Abstand der beobachteten Interferenz-Minima (Formel und Zahlenwert)!

c) Schätzen Sie rechnerisch ab (Formel und Zahlenwert!), wie viele Interferenzminima Sie etwa beobachten können, wenn die Kohärenzlänge des verwendeten Lichts l_c = 12 µm (in Luft) beträgt!

d) Jetzt füllen Sie den Spalt zwischen den Platten mit einer Flüssigkeit. Die Flüssigkeit habe den Brechungsindex $n_{\text{Flüssigkeit}} > n_{\text{Glas}}$. Wie ändern sich formelmäßig der Abstand der Interferenzstreifen und die Zahl der beobachtbaren Minima bei Verwendung der gleichen Lichtquelle wie zuvor? Liegt in der Nähe des Auflagepunktes der Platten jetzt ein Minimum oder ein Maximum vor? Begründen Sie Ihre Antworten jeweils kurz!

Weiter auf Rückseite!

e) Was beobachten Sie, wenn $n_{\text{Flüssigkeit}} \approx n_{\text{Glas}}$? Begründen Sie Ihre Antwort!



Aufgabe 3: (6 Punkte)

Aus einer dünnen Bikonvex-Linse (Brennweite f_1) und einer dünnen Bikonkavlinse (Brennweite f_2) wird das unten skizzierte Holländische (Galilei-) Fernrohr aufgebaut und zur Beobachtung eines sehr weit entfernten Gegenstands eingesetzt, so dass die einfallenden Lichtstrahlen als parallel angesehen werden können. Die einfallenden Lichtstrahlen sollen einen Winkel ε_0 mit der optischen Achse einschließen.

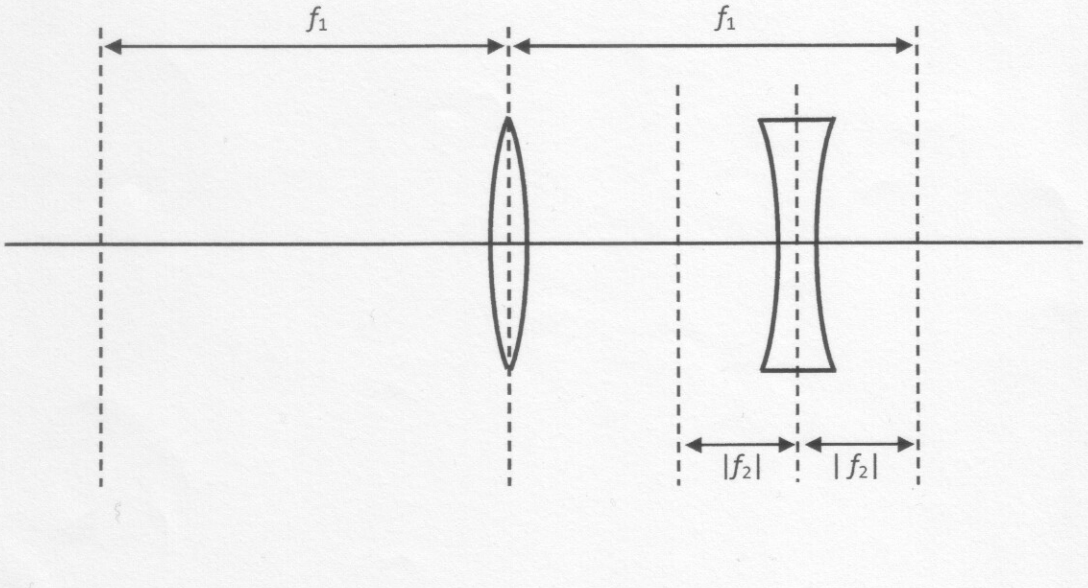
a) Zeichnen Sie für ein unter dem Winkel ε_0 parallel einfallendes Lichtbündel den Strahlengang durch das Fernrohr in die untenstehende Skizze ein! Beachten Sie bei Ihrer Zeichnung, dass es sich um dünne Linsen handeln soll!

b) Ist das entstehende Bild reell oder virtuell?

c) Sieht das Auge ein auf dem Kopf stehendes oder aufrechtes Bild?

d) Zeigen Sie mit Hilfe der Matrixmethode, dass Lichtstrahlen, die parallel unter dem Winkel ε_0 bezüglich der optischen Achse auf das Teleskop treffen, das Teleskop auch wieder parallel verlassen, und berechnen Sie ebenfalls unter Verwendung der Matrixmethode die Winkelvergrößerung V_F des Fernrohrs, wobei ε der Ausfallswinkel des Lichts relativ zur optischen Achse ist!

Hilfe: Abbildungsmatrix einer Linse: $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{pmatrix}$; Translationsmatrix für Strecke d: $\begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$



Aufgabe 4: (8 Punkte)

Mit einem idealen Gas wird der folgende Kreisprozess durchgeführt:

I. Isotherme Zustandsänderung ($T = T_1$) von (p_1, V_1) auf (p_2, V_2) mit $p_2 > p_1$

II. Isobare Zustandsänderung ($p = p_2$) mit Erwärmung des Gases von T_1 auf T_2

III. Isotherme Zustandsänderung ($T = T_2$) von (p_2, V_3) auf (p_1, V_4)

IV. Isobare Zustandsänderung ($p = p_1$) mit Abkühlung des Gases von T_2 auf T_1

a) Geben Sie für jeden der vier Schritte des Prozesses den genauen funktionellen Zusammenhang $p(V)$ unter Verwendung der Konstanten p_1, p_2, T_1, T_2 und $V_1 - V_4$ an!

b) Skizzieren Sie den Kreisprozess im p-V-Diagramm! Nummerieren Sie im Diagramm die einzelnen Schritte (I-IV). Zeichnen Sie außerdem die Position von p_1 und p_2 sowie V_1 bis V_4 auf den Achsen ein!

c) Berechnen Sie die bei einem Umlauf insgesamt verrichtete Arbeit ΔW unter der Annahme, dass man genau 1 Mol des Gases hat. Drücken Sie Ihr Ergebnis so aus, dass es nur noch von T_1, T_2, V_1 und V_2 abhängt.

d) Arbeitet der Kreisprozess als Wärmepumpe oder als Kraftmaschine? Begründen Sie kurz Ihre Antwort!

Aufgabe 5: (8 Punkte)

Zwei zunächst getrennte Eisenblöcke der Massen $m_1 = 1$ kg bzw. $m_2 = 2$ kg haben die Temperaturen $T_1(0) = 700$ K bzw. $T_2(0) = 400$ K. Die Blöcke werden zum Zeitpunkt $t = 0$ mit einer Eisenstange verbunden (Länge: $l = 5$ cm, Querschnitt: A = 1 cm^2).

a) Berechnen Sie, welche Endtemperatur T_E sich einstellt, wenn die beiden Blöcke mit der Eisenstange verbunden werden!

b) Welcher Energiestrom P fließt anfangs aus dem 1. Block in den 2. Block?

c) Leiten Sie eine Formel für den zeitlichen Temperaturverlauf $T_1(t)$ von Block 1 her! Dabei sollten Sie auch die Zeitabhängigkeit von ΔT betrachten.

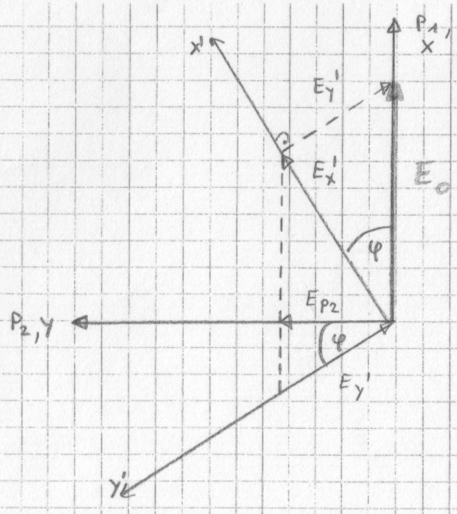
Hinweise:

- Vernachlässigen Sie die Wärmekapazität der Eisenstange!
- Wärmeleitfähigkeit von Eisen: $\lambda = 80$ J/(Ksm)
- Die Wärmeleitfähigkeit λ und die spezifische Wärmekapazität c von Eisen seien temperaturunabhängig.

Aufgabe 1

a) Intensität durch P_1

$I = E_0^2 = \frac{1}{2} I_0$



$E_x' = \cos\varphi \, E_0$

$E_y' = -\sin\varphi \, E_0 \, e^{i\pi/2}$
↑
$\frac{\lambda}{4}$-Plättchen

$E_{P_2} = E_y' \cos\varphi + \cos(90° - \varphi) E_x'$

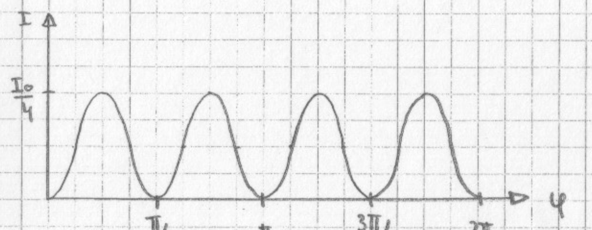
$E_{P_2} = -\sin\varphi \cos\varphi \, E_0 \, e^{i\frac{\pi}{2}} + \sin\varphi \cos\varphi \, E_0 = E_0 \sin\varphi \cos\varphi (-e^{i\frac{\pi}{2}} + 1)$

$I_{P_2} = E_{P_2}^2 = E_0^2 \sin^2\varphi \cos^2\varphi \, (-e^{i\frac{\pi}{2}} + 1)(-e^{-i\frac{\pi}{2}} + 1)$

$I_{P_2} = E_0^2 \, \frac{1}{4} \sin^2 2\varphi \, (2 - 2\cos\frac{\pi}{2}) = \frac{1}{4} E_0^2 \sin^2(2\varphi) \cdot 2$

$I_{P_2} = \frac{1}{4} I_0 \sin^2(2\varphi)$

b)



c) $\frac{\lambda}{2}$-Plättchen

$\rightsquigarrow I_{P_2} = \frac{1}{4} E_0^2 \sin^2 2\varphi \, (2 - 2\cos\pi)$

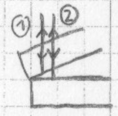
$I_{P_2} = E_0^2 \sin^2 2\varphi$

$I_{P_2} = \frac{1}{2} I_0 \sin^2(2\varphi)$

$\Rightarrow$ die gesamte Intensität nach P_1 kommt durch

Aufgabe 2

a) Interferenzmuster wg. Luftkeil $\Rightarrow$ Strahl (Grenzschicht: Glas/Luftkeil) interferiert mit Strahl (Grenzschicht: Luftkeil/Glas)



dunkler Streifen: Phasensprung bei Reflexion an unterer Platte (②), kein Phasensprung bei Reflexion an oberer Platte (①) $\Rightarrow$ destruktive Interferenz

b) $d = \frac{D}{L} l$

Minima: $2d = n\lambda$ mit $n = 0, 1, 2, 3, \ldots$

$\rightsquigarrow 2 \frac{Dl}{L} = n\lambda \rightsquigarrow \Delta l = \frac{\lambda L}{2D} = \frac{750 \cdot 10^{-9}\,m \cdot 0{,}8\,m}{2 \cdot 0{,}1 \cdot 10^{-3}\,m}$

$\Delta l = 3\,mm$

c) beim l-ten Minimum muss die unten reflektierte Welle im Vergleich zu der oben reflektierten die zusätzliche Strecke $\Delta x = l\lambda$ durchlaufen ($l = 0, 1, 2, \ldots$)

Interferenz noch beobachtbar $\rightsquigarrow l\lambda \approx l_c$

$\rightsquigarrow l \approx l_c / \lambda = 12000\,nm / 750\,nm = 16$ (Zahl der Min.)

d) $\lambda \to \lambda / n_{Fl}$

$\Rightarrow$ Abstand der Minima sinkt um $\frac{1}{n_{Fl}}$: $\Delta l_{Fl} = \frac{\Delta l}{n_{Fl}}$

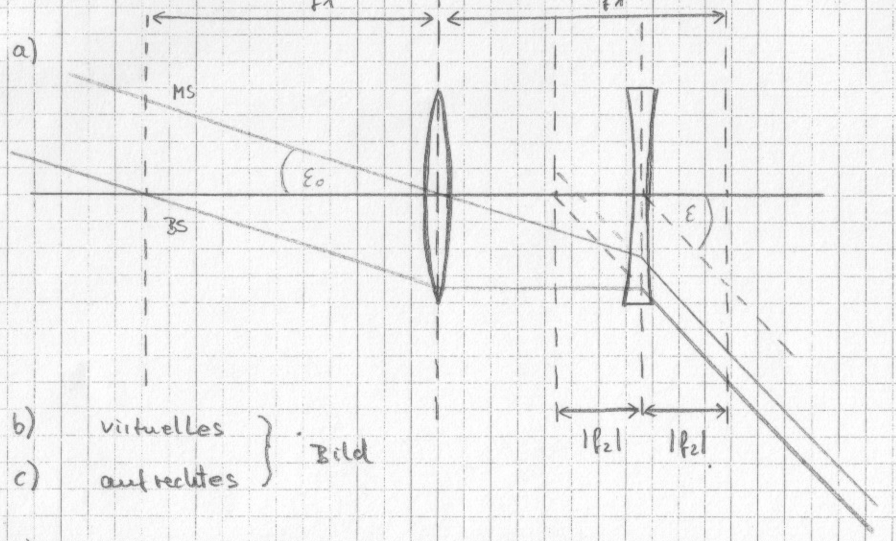
$l_{c,Fl} = \frac{l_c}{n_{Fl}}$ $\rightsquigarrow$ Zahl der Minima bleibt unverändert

Minimum am Berührpunkt bleibt, Phasensprung nun bei der Reflexion oben, aber unten nicht mehr

e) Brechungsindizes gleich $\Rightarrow$ keine Grenzflächen und damit keine Reflexion mehr $\Rightarrow$ Interferenzmuster verschwindet

Aufgabe 3

a)



b) virtuelles
c) aufrechtes } Bild

d) $f_1 > 0$, $f_2 < 0$; $d = f_1 + f_2$

$$\begin{pmatrix} y' \\ \varepsilon \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & f_1+f_2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y \\ \varepsilon_0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} y' \\ \varepsilon \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -f_2/f_1 & f_1+f_2 \\ -1/f_1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y \\ \varepsilon_0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} y' \\ \varepsilon \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -f_2/f_1 & f_1+f_2 \\ 0 & -f_1/f_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y \\ \varepsilon_0 \end{pmatrix}$$

untere Zeile : $\varepsilon = -{}^{f_1}/_{f_2}\, \varepsilon_0$

-> der Ausfallswinkel hängt nur von den Brennpunkten und dem Einfallswinkel ab , nicht von y

=> paralleles Lichtbündel bleibt parallel

Winkelvergrößerung : $V_F = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = -\frac{f_1}{f_2}$

Aufgabe 4

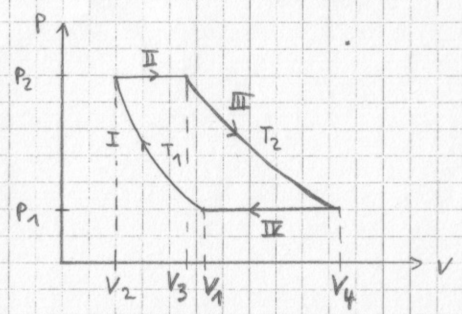
a) $\text{I}: \quad p(V) = \frac{nRT_1}{V}$

$\text{II}: \quad p(V) = p_2 = \frac{nRT_1}{V_2} = \frac{nRT_2}{V_3} = \text{const.}$

$\text{III}: \quad p(V) = \frac{nRT_2}{V}$

$\text{IV}: \quad p(V) = p_1 = \frac{nRT_2}{V_4} = \frac{nRT_1}{V_1} = \text{const.}$

b)



c) $\Delta W = \Delta W_{\text{I}} + \Delta W_{\text{II}} + \Delta W_{\text{III}} + \Delta W_{\text{IV}}$ (Fläche unter Kurve)

III : isotherme $\Delta W_{\text{III}} = \int_{V_3}^{V_4} p\,dV = RT_2 \int_{V_3}^{V_4} \frac{dV}{V} = RT_2 \ln \frac{V_4}{V_3}$

I : isotherme $\Delta W_{\text{I}} = -\int_{V_2}^{V_1} RT_1 \frac{dV}{V} = -RT_1 \ln \frac{V_1}{V_2}$

$\text{IV}: \quad p_1 = \frac{RT_1}{V_1} = \frac{RT_2}{V_4}$

$\text{II}: \quad p_2 = \frac{RT_1}{V_2} = \frac{RT_2}{V_3}$

$* \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$

$\Delta W = p_2 (V_3 - V_2) - p_1 (V_4 - V_1) + RT_2 \ln \frac{V_4}{V_3} - RT_1 \ln \frac{V_1}{V_2}$

$\Delta W \overset{*}{=} \frac{RT_2}{V_3} (V_3 - V_2) - \frac{RT_1}{V_1} (V_4 - V_1) + RT_2 \ln \frac{V_1}{V_2} - RT_1 \ln \frac{V_1}{V_2}$

$\Delta W = RT_2 - RT_1 - RT_2 + RT_1 + R \ln \frac{V_1}{V_2} (T_2 - T_1)$

$\rightsquigarrow \Delta W = R \ln \frac{V_1}{V_2} (T_2 - T_1)$

d) der Kreisprozess arbeitet als Kraftmaschine , da er im Uhrzeigersinn durchlaufen wird

] Fläche unter II + III = Arbeit beim Ausdehnen des Gases > Fläche unter I + IV [

Aufgabe 5

a) Energiebillanz: $c m_1 T_1(0) + c m_2 T_2(0) = c(m_1+m_2) T_E$

$$\leadsto T_E = \frac{m_1 T_1(0) + m_2 T_2(0)}{m_1+m_2} = \frac{1\,kg \cdot 700\,K + 2\,kg \cdot 400\,K}{3\,kg} = 500\,K$$

b) $\vec{j}_E = -\lambda \vec{\nabla} T \Rightarrow j_E = \lambda \frac{T_1(t) - T_2(t)}{l}$

$$\Rightarrow P = \frac{A\lambda}{l}[T_1(t) - T_2(t)] = \frac{1\,cm^2 \cdot 80\,\frac{J}{K\,sm}}{5\,cm} \cdot 300\,K$$

$P = 48\ J/s$

c) $$\text{I}: \quad c m_1 \frac{dT_1(t)}{dt} = P = -\frac{A\lambda}{l}[T_1(t) - T_2(t)]$$

$$\text{II}: \quad c m_2 \frac{dT_2(t)}{dt} = +\frac{A\lambda}{l}[T_1(t) - T_2(t)]$$

$$\text{I}+\text{II} \Rightarrow c\frac{d}{dt}[m_1 T_1(t) + m_2 T_2(t)] = 0$$

$$\Rightarrow m_1 T_1(t) + m_2 T_2(t) = \text{const.} = (m_1+m_2) T_E$$

$$\Rightarrow T_2(t) = \frac{(m_1+m_2) T_E - m_1 T_1(t)}{m_2} = \frac{m_1 T_1(0) + m_2 T_2(0) - m_1 T_1(t)}{m_2} \quad ⊛$$

I und II durch Vorfaktor teilen und voneinander abziehen

$$\frac{d}{dt}(T_1(t) - T_2(t)) = \frac{d}{dt}\Delta T(t) = \left(-\frac{A\lambda}{c m_1 l} - \frac{A\lambda}{c m_2 l}\right)\Delta T(t)$$

$$\frac{d}{dt}\Delta T(t) = -\frac{A\lambda}{cl}\left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}\right)\Delta T(t)$$

allg. Lsg $\quad \Delta T(t) = B \cdot \exp\left[-\frac{A\lambda}{cl}\left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}\right) t\right]$

Randbedingung: $\Delta T(0) = T_1(0) - T_2(0) \overset{!}{=} B$

$$\leadsto T_1(t) - T_2(t) = \Delta T(t) = (T_1(0) - T_2(0)) \exp\left[-\frac{A\lambda}{cl}\left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}\right) t\right]$$

$$\leadsto T_1(t) = T_2(t) + (T_1(0) - T_2(0)) \exp[\ldots]$$

mit ⊛

$$\ldots \leadsto T_1(t) = T_E + \frac{m_2}{m_1+m_2}(T_1(0) - T_2(0)) \exp\left[-\frac{A\lambda}{cl}\left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}\right) t\right]$$