

EX III - WS 24/25 - Klausur Nr. 1 (Guigas) – Gedächtnisprotokoll inkl. Lsg

Aufgabe 1

Eine Sammellinse mit $f_s=3\text{cm}$ steht im Abstand von $d=8\text{cm}$ vor einer Zerstreuungslinse mit $f_z=-1\text{cm}$. Vor der Sammellinse steht im Abstand von $g=6\text{cm}$ ein Gegenstand der Höhe $G=1\text{cm}$. Der Gegenstand wird durch die Sammellinse in ein Zwischenbild B_z abgebildet, welches dann durch die Zerstreuungslinse in das endgültige Bild B abgebildet wird.

- Zeichnen Sie den Strahlenverlauf unter Verwendung charakteristischer Strahlen.
- Berechnen Sie die Bildweiten b_z und b .
- Ist das endgültige Bild virtuell oder reell? Begründen Sie Ihre Antwort.
- Welchen Abstand müssten die beiden Linsen voneinander haben, damit Sie ein Galileisches Fernrohr bilden?
- Zeichnen Sie den Strahlenverlauf eines weit entfernten Objekts mit parallel einfallenden Strahlen durch das Fernrohr unter Verwendung zweier geeigneter charakteristischer Strahlen.
- Durch was ist das Auflösungsvermögen zweier Sterne charakterisiert, die durch das Fernrohr beobachtet werden?

Aufgabe 2

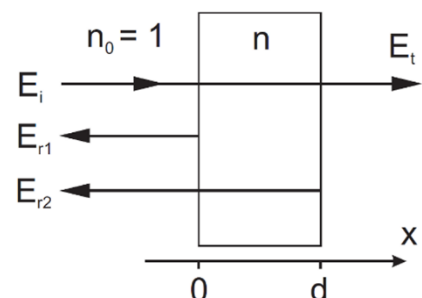
In der Vorlesung wurde eine periodisch arbeitende Wärmekraftmaschine durch einen idealisierten Kreisprozess mit vier Prozessschritten beschrieben (Carnot-Prozess).

- Zeichnen Sie das zugehörige T-S und P-V-Diagramm
- Wie lautet die allgemeine (ideale) Gasgleichung?
- Berechnen Sie ΔW und ΔQ für jeden Prozessschritt in Abhängigkeit von T_{1-2} und V_{1-4}
- Berechnen Sie ΔS für jeden Prozessschritt
- Was gilt für adiabatische Prozessführung?
- Berechnen Sie ΔS_{ges}
- Berechnen Sie ΔW_{ges}
- Berechnen Sie den Wirkungsgrad $\eta = \frac{|\Delta W_{\text{ges}}|}{|Q_{1 \rightarrow 2}|}$

Aufgabe 3

Die Lichtwelle $E_i = E_0 e^{i(kx - \omega t)}$ mit der Vakuumwellenlänge λ_0 fällt senkrecht auf ein Glasplättchen mit Dicke d und Brechungsindex $n > 1$.

- Berechnen Sie E_{r1} . Welcher Phasensprung tritt auf?
- Berechnen Sie E_{r2} .



- c) Welche Dicke d muss das Plättchen haben, damit zwischen den beiden reflektierten Wellen konstruktive Interferenz auftritt?
- d) Welche Dicke d muss das Plättchen haben, damit zwischen den beiden reflektierten Wellen destruktive Interferenz auftritt?
- e) Erklären Sie kurz den Aufbau eines Fabry-Pérot-Interferometers. Welche Anwendungen hat es?
- f) Wieso schillert ein Ölfilm auf einer Wasserpflanze?

Aufgabe 4

- a) Was ist Hohlraumstrahlung?
- b) Welche Annahme ist Grundlage des Planckschen Strahlungsgesetzes?
- c) Wie lautet das Plancksche Strahlungsgesetz für die spektrale Energiedichte $w(\nu)$? Was wäre, wenn es die Annahme auf b) nicht gibt?
- d) Berechnen Sie die Temperatur der Erde im thermischen Gleichgewicht aufgrund der Sonneneinstrahlung.
- e) Wie lautet das Wiensche Verschiebungsgesetz?

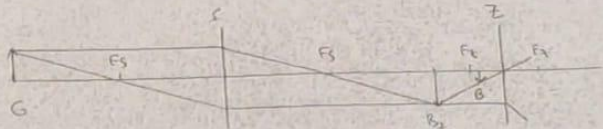
Aufgabe 5

- a) Wie lauten die 3 Hauptsätze der Thermodynamik. Geben Sie zu jedem Hauptsatz eine kurze Beschreibung/erklärenden Satz an.
- b) Wie lautet die Änderung der inneren Energie laut dem 1. und 2. HS (??)
- c) Wie lautet die Formel für die innere Energie U eines idealen Gases?
- d) Leiten Sie die Formel für C_V her.
- e) Wie lautet die Formel für die Enthalpie H ?
- f) Leiten Sie die Formel für C_P her.
- g) Wie viele Freiheitsgrade hat ein zweiatomiges Molekül? (+Skizzen) Was ist die mittlere kinetische Energie pro Freiheitsgrad?

Note Punkte

1,0	60 - 54
1,3	53,5 - 50,5
1,7	50 - 47
2,0	46,5 - 43,5
2,3	43 - 40
2,7	39,5 - 36,5
3,0	36 - 33
3,3	32,5 - 29,5
3,7	29 - 26
4,0	25,5 - 22,5
5,0	22 - 0

a)



b) Abbildungsgleichung: $\frac{1}{s} = \frac{1}{f_s} + \frac{1}{s}$ $\Rightarrow s = \frac{f_s}{1 - \frac{f_s}{f_z}}$

• $s_z = \frac{s \cdot f_z}{s - f_z} = \frac{6,3 \text{ (cm)}^2}{(6-3) \text{ cm}} = \frac{18}{3} \text{ cm} = 6 \text{ cm}$

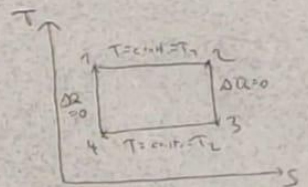
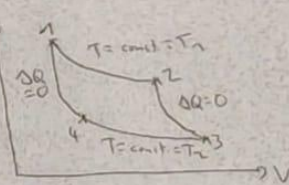
• $s = \frac{f_z \cdot f_s}{f_z - f_s} = \frac{(8 \text{ cm} - 8 \text{ cm}) - f_z}{(8 \text{ cm} - 8 \text{ cm}) - f_z} = \frac{(8-6) \text{ cm} - (-1) \text{ cm}}{(8-6) \text{ cm} - (-1) \text{ cm}} = \frac{-2}{3} \text{ cm} = -\frac{2}{3} \text{ cm}$

c) Das Bild ist virtuell, da $s < 0$ sein da es nicht durch konvergierende Lichtstrahlen gebildet wird, die auf einem Schirm aufgefängt werden könnten. Anstatt dessen scheinen die divergierenden Strahlen vom Bild her zu kommen, wenn man sie rückwärts verlängert.

d) Der Abstand von S (objektiv) und Z (okular) ist $f_s + f_z$. [Achtung: $f_z < 0$]
 $= 3 \text{ cm} - 1 \text{ cm} = 2 \text{ cm}$

Aufgabe 2

a)



b) allgemeine Gasgleichung: $pV = N k_B T$ oder $pV = nRT$

c) isotherme Expansion (1-2)

$$\Delta W = - \int_{V_1}^{V_2} p dV = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT_1}{V} dV = -nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta U = \int_{T_1}^{T_2} nR dT = 0, \text{ da } \Delta T = 0$$

$$\Rightarrow \Delta Q = -\Delta W = nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

• adiab. Expansion (2-3)

$$\Delta Q = 0 \text{ (da adiabatisch)}$$

$$\Rightarrow \Delta W = \Delta U = \int_{T_1}^{T_2} \frac{1}{2} nR dT = \frac{1}{2} nR (T_2 - T_1)$$

• isoth. Kompression (3-4)

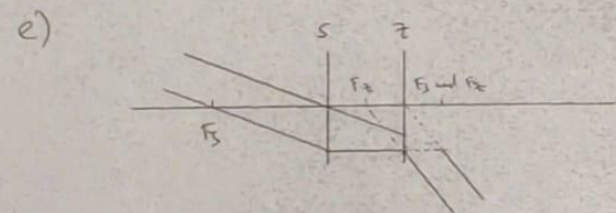
$$\Delta W = - \int_{V_3}^{V_2} p dV = - \int_{V_3}^{V_2} \frac{nRT_2}{V} dV = -nRT_2 \ln \frac{V_2}{V_3}$$

$$\Delta Q = -\Delta W = nRT_2 \ln \frac{V_2}{V_3}$$

• adiab. Kompression (4-1)

$$\Delta Q = 0$$

$$\Delta U = \Delta W = \int_{T_2}^{T_1} \frac{1}{2} nR dT = \frac{1}{2} nR (T_1 - T_2)$$



f) Bei Abbildung selbst leuchtender Objekte wie Sterne ist das Auflösungsvermögen durch das Rayleigh-Kriterium gegeben:

$$\Delta \alpha_{\text{min}} = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

Bestimmte Größen sind also die Lichtwellenlänge λ und der Öffnungsdurchmesser D des Teleskops.

$$d) \Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

$$\cdot \text{isotherme Expansion } \Delta S = \frac{nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}}{T_1} = nR \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\cdot \text{adiab. Expansion } \Delta S = 0$$

$$\cdot \text{isoth. Komprim. } (3 \rightarrow 4) \cdot \Delta S = nR \ln \frac{V_4}{V_3}$$

$$\cdot \text{adiab. Komprim. } (4 \rightarrow 1) \cdot \Delta S = 0$$

$$e) TV^{\gamma-1} = \text{const.}$$

f) für die adiab. Prozesse gilt:

$$2 \rightarrow 3: T_2 V_2^{\gamma-1} = T_3 V_3^{\gamma-1}$$

$$4 \rightarrow 1: T_4 V_4^{\gamma-1} = T_1 V_1^{\gamma-1}$$

• Division beider Gleichungen ergibt:

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

$$\Delta S_{\text{ges}} = \sum \Delta S = nR \ln \frac{V_2}{V_1} + nR \ln \frac{V_4}{V_3}$$

$$= nR \ln \frac{V_2}{V_1} + nR \ln \frac{V_1}{V_2} \quad (\text{mit } *)$$

$$= nR \ln \frac{V_2}{V_1} - nR \ln \frac{V_2}{V_1} = 0$$

$$g) \Delta W_{\text{ges}} = \sum \Delta W = -nRT_2 \ln \frac{V_2}{V_1} - nRT_4 \ln \frac{V_4}{V_3}$$

$$= -nRT_2 \ln \frac{V_2}{V_1} - nRT_4 \ln \frac{V_1}{V_2} \quad (\text{mit } *)$$

$$= nR(T_2 - T_4) \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$h) \eta = \left| \frac{\Delta W_{\text{ges}}}{\Delta Q_{1 \rightarrow 2}} \right| = \left| \frac{-nR(T_2 - T_4) \ln \frac{V_2}{V_1}}{nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}} \right| = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Aufgabe 3

$$a) E_1 = E_0 e^{i(k_0 x - \omega t)}$$

$$E_{r1} = E_0 \frac{1-n}{1+n} e^{i(-k_0 x - \omega t)} \quad [n_{\text{Luft}} = 1]$$

$\hookrightarrow 0, \text{ da } n > 1$

$\Rightarrow$ Phasensprung π an T_1 , da $-x = e^{i\pi}$

$$b) E_{r2} = E_0 t' r' e^{i(-k_0 x - \omega t + 2dk_0 x)} \quad [k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}]$$

$$t = \frac{2}{1+n} \quad (\text{Luft} \rightarrow \text{Glas}) > 0$$

$$t' = \frac{2n}{1+n} \quad (\text{Glas} \rightarrow \text{Luft}) > 0$$

$$r' = \frac{n-1}{1+n} \quad (\text{Glas} \rightarrow \text{Luft}) > 0$$

$\Rightarrow$ kein Phasensprung; Phasenverschieb. $2dk_0 x$

c) Phasendifferenz zwischen E_{r1} und E_{r2} :

$$\Delta \varphi = 2dk_0 \frac{2\pi}{\lambda_0} - \pi$$

• konstruktive Interferenz für $\Delta \varphi = 2m\pi, m \in \mathbb{Z}$

$$\Rightarrow 2dk_0 \frac{2\pi}{\lambda_0} - \pi = 2m\pi$$

$$d = \frac{(2m+1)\lambda_0}{4n}$$

d) • destruktive Interferenz für $\Delta \varphi = (2m+1)\pi, m \in \mathbb{Z}$

$$\Rightarrow 2dk_0 \frac{2\pi}{\lambda_0} - \pi = (2m+1)\pi$$

$$d = \frac{\lambda_0 m}{2n}$$

d) Ein Fabry-Pérot-Interferometer (auch Fabry-Pérot-Resonator) besteht aus zwei teildurchlässigen, hochreflektierenden Spiegeln, die parallel zueinander angeordnet sind. Dazwischen befindet sich ein Medium, das meist Luft oder ein transparenter Festkörper ist.

Lichtwellen, die in das Interferometer eintreten, werden zwischen den Spiegeln mehrfach reflektiert und interferieren konstruktiv oder destruktiv. Dies führt zu einer Serie von scharfen transmittierten oder reflektierten Peaks. Die Interferenz hängt von der Wellenlänge, dem Einstrahlwinkel, dem Spiegelabstand und dem Brechungsindex ab.

Anwendungen:

- Spektralanalysator, optischer Filter (lässt Licht bestimmter Wellenlängen passieren)
- Laserresonator
- Messungen von Brechungsindizes und dadurch von Gaskonzentrationen oder Druckveränderungen

- e) • Weißes Sonnenlicht besteht aus Licht verschiedener Farben mit jeweils eigener Wellenlänge. Durch konstruktive und destruktive Interferenz von an Ober- und Unterseite der Ölschicht reflektiertem Licht werden manche Farben verstärkt, andere verschwinden.
- Welche Farben sich durchsetzen, hängt vom Einfallswinkel des Lichts und der Dicke der Ölschicht ab. Letztere ändert sich ständig, z.B. durch Wind und Erschütterungen. Dadurch ändern sich auch die Farben.



Aufgabe 4

a) Hohlraumstrahlung: die Strahlung, die ein Hohlraum mit strahlungsdurchlässigen Wänden konstanter Temperatur durch eine kleine Öffnung emittiert. Die Öffnung ist klein genug, dass das Strahlungsgleichgewicht im Inneren nicht gestört wird. Der Hohlraum approximiert einen schwarzen Körper (den es in der Natur nicht gibt) mit beliebiger Genauigkeit.

b) • Plancksche Quantenhypothese: Die Wände des Hohlraums bestehen aus Oszillatoren (Atome, Moleküle), die nur ganzzahlige Vielfache der Energie $h\nu$ absorbieren und emittieren.

$$c) \cdot \text{Spektrale Energiedichte: } w(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot U_{\text{str}}(\nu)$$

• Zustandsdichte ρ $\uparrow$
mittlere Schwingungszahl
eines Oszillators

$$\text{mit Quantenhypothese: } U_{\text{str}}(\nu) = \frac{h\nu}{e^{h\nu/k_B T} - 1} \quad (\text{Planck})$$

$$\text{ohne Quantenhypothese: } U_{\text{str}}(\nu) = k_B T \quad (\text{Klassisch-Jeans})$$

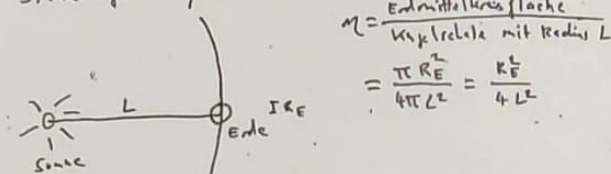
$$\Rightarrow w(\nu) \sim \nu^2 \rightarrow \infty \quad \text{für } \nu \rightarrow \infty$$

"UV-Katastrophe"

Aufgabe 5

d) • Strahlungsleistung der Sonne: $P_s = \sigma A_s T_s^4 = \sigma 4\pi R_s^2 T_s^4$

• Strahlungsanteil, der auf die Erde trifft:



$$\eta = \frac{\text{Erdoberflächenfläche}}{\text{Kugelfläche mit Radius L}} = \frac{\pi R_E^2}{4\pi L^2} = \frac{R_E^2}{4L^2}$$

• von Erde absorbierte Leistung: $P_{abs} = \eta P_s = \frac{R_E^2}{4L^2} \sigma 4\pi R_s^2 T_s^4$

• von Erde abgestrahlte Leistung: $P_{em} = \sigma A_E T_E^4 = \sigma 4\pi R_E^2 T_E^4$

• therm. Gleichgewicht: $P_{abs} = P_{em}$

$$\Rightarrow T_E = \sqrt{\frac{R_s}{2L}} T_s$$

e) Winkels Verschiebungsgesetz: $\lambda_{max} = \frac{2897,8 \mu m K}{T_E}$

a)

• 1. Hauptsatz:

- Die Änderung der inneren Energie eines geschlossenen Systems ist gleich der Summe der Änderung der Wärme und der Änderung der Arbeit.
- $\Delta U = \Delta Q + \Delta W$ (U: innere Energie, Q: Wärme, W: Arbeit)

• 2. Hauptsatz:

- In einem abgeschlossenen, sich selbst überlassenen System kann sich die Entropie niemals verkleinern. Sie kann nur konstant bleiben oder zunehmen.
- $\Delta S \geq 0$ (S: Entropie)
- Es gibt kein Perpetuum mobile 2. Art.
Ein Perpetuum mobile 2. Art wäre eine Anordnung, die unaufhörlich Wärme aus einem großen Wasserbehälter konstanter Temperatur entnimmt und sie in mechanische Arbeit umwandelt. Ein solcher Vorgang steht nicht im Widerspruch zum Energieerhaltungssatz, geht aber nicht von allein vor sich.
- Die Natur strebt aus einem unwahrscheinlicheren dem wahrscheinlicheren Zustand zu (L. BOLTZMANN). Der wahrscheinlichste Zustand ist immer der der größtmöglichen Unordnung.
- Es gibt keine periodisch arbeitende Maschine, deren Wirkungsgrad höher ist als der der Carnot-Maschine.
- Wärme fließt von selbst immer nur vom wärmeren zum kälteren Körper, nie umgekehrt.
- Es ist unmöglich, eine periodisch arbeitende Maschine zu bauen, die nichts weiter bewirkt, als eine Last zu heben und einen Wärmespeicher abzukühlen (MAX PLANCK).

• 3. Hauptsatz:

- Die Entropie eines geschlossenen Systems geht für $T \rightarrow 0$ gegen eine von thermodynamischen Parametern unabhängige Konstante, woraus folgt, dass der absolute Nullpunkt der Temperatur nicht durch eine endliche Anzahl von Zustandsänderungen erreichbar ist.
- $\lim_{T \rightarrow 0} S(T) = 0$ (S: Entropie, T: Temperatur)
- Der thermodynamische Gleichgewichtszustand am absoluten Nullpunkt ist ein Zustand maximaler Ordnung, der nur eine Realisierungsmöglichkeit $W = 1$ hat.

$$b) dU = \delta Q + \delta L = \delta Q - p dV \quad (*)$$

$$c) U = \frac{f}{2} n R T$$

$$d) V = \text{const.} \Rightarrow dV = 0$$

$$\Rightarrow dU = \delta Q$$

$$c_v = \frac{\delta Q}{dT} = \frac{dU}{dT} = \frac{f}{2} n R$$

$$e) H = U + pV = \frac{f}{2} n R T + n R T$$

$$f) dH = dU + p dV + V dp = \delta Q + V dp \quad (\text{mit } *)$$

$$p = \text{const.} \Rightarrow dp = 0$$

$$\Rightarrow dH = \delta Q$$

$$c_p = \frac{\delta Q}{dT} = \frac{dH}{dT} = \frac{f}{2} n R + n R$$

g)

- $f_{\text{Trans}} = 3$ Bewegung in 3 Raumrichtungen

- $f_{\text{Rot}} = 2$ nicht (wg. sehr kleinen Trägheitsmoment)

$$\bar{E}_{\text{Trans}} = \frac{1}{2} k_B T \quad \text{pro Freiheitsgrad}$$

$$\bar{E}_{\text{rot}} = \frac{1}{2} k_B T \quad \text{"}$$

$$- f_{\text{vib}} = 1$$

$$\bar{E}_{\text{vib}} = k_B T \quad (\bar{E}_{\text{vib}} = \bar{E}_{\text{kin}} + \bar{E}_{\text{pot}} \quad \text{pro Freiheitsgrad} \quad \bar{E}_{\text{kin}} = \bar{E}_{\text{pot}} = \frac{1}{2} k_B T)$$

(and richtig: $f_{\text{vib}} = 2$, $\bar{E}_{\text{vib}} = \frac{1}{2} k_B T$ pro Freiheitsgrad, da oft verwechselte Konvention)

- Temperatureinfluss: bei niedrigen Temperaturen hat das Molekül nur die Translationsfreiheitsgrade, bei mittlerem T kommt die Rotation dazu, bei hohen T die Schwingung.

