

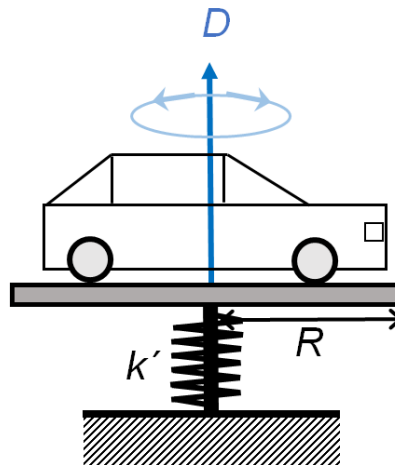
Wintersemester 2017/18	Blatt 1 (von 5)
Studiengang: TIB2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 1052010
Hilfsmittel: Manuskript, Literatur, Taschenrechner	Zeit: 90 Minuten

Gesamtpunktzahl: 87

Aufgabe 1:

Gierträgheitsmoment

(27 Punkte)



Ein Modellauto ist zum *Autonomen Fahren* fähig. Für kontrollierte Kurvenfahrten ist es wichtig, das sogenannte Gierträgheitsmoment zu kennen, d.h. das Massenträgheitsmoment J_A für die vertikale Drehachse D durch den Schwerpunkt des Autos. Dieses unbekannte Massenträgheitsmoment J_A kann experimentell bestimmt werden mit Hilfe eines horizontalen Drehtisches mit einer Torsionsfeder der Drehfederkonstante k' (siehe Abbildung). Im Experiment werden dabei Drehtisch und Auto fest verbunden und in Drehschwingungen versetzt. Die gemessene Periodendauer ist $T_{ges} = 3,6$ s.

a) Geben sie die Kreisfrequenz ω_{ges} der Drehschwingung an.

Allerdings ist die Drehfederkonstante k' der Torsionsfeder unbekannt. Für ihre Bestimmung können zwei unterschiedliche Methoden verwendet werden: die statische und die dynamische Messung.

Bei der *statischen* Messung wird ein dünner Stab horizontal in die vertikale Drehachse eingesetzt und im Abstand $r = 0,2$ m von der Drehachse mit einem Federkraftmesser folgende Kräfte F_i (wirken senkrecht auf r) bei den Drehwinkeln φ_i gemessen:

Messung i	Drehwinkel φ_i	Kraft F_i
1	$\pi/2$	0,199 N
2	π	0,398 N

b) Berechnen Sie die bei den statischen Messungen wirkenden Drehmomente M_i .

c) Welche Drehfederkonstanten k'_i bestimmen Sie mittels dieser Methode?

Wintersemester	2017/18	Blatt 2 (von 5)
Studiengang:	TIB2	Semester 2
Prüfungsfach:	Physik 2	Fachnummer: 1052010
Hilfsmittel:	Manuskript, Literatur, Taschenrechner	Zeit: 90 Minuten

Fortsetzung von Aufgabe 1

Wenn das gespannte System losgelassen wird, beginnt eine Drehschwingung.

- d) Kann das hier betrachtete System harmonische Drehschwingungen ausführen? Begründen Sie Ihre Aussage.

Bei der *dynamischen* Messung wird die Drehfederkonstante k' über die Periodendauer T_T der Drehschwingungen bestimmt, die der Drehtisch ohne Auto ausführt. Hierfür ist das Massenträgheitsmoment J_T des Drehtisches aus seiner Masse $m_T = 0,40$ kg und seinem Radius $R = 17$ cm zu berechnen.

- e) Geben Sie das Massenträgheitsmoment J_T des Drehtisches an. Nehmen Sie dabei den Drehtisch als homogene Kreisscheibe an.
- f) Die gemessene Periodendauer der Schwingungen des Drehtisches ohne Auto ist $T_T = 3,0$ s. Berechnen Sie die Drehfederkonstante k' .
- g) Stimmen die ermittelten Drehfederkonstanten k' aus der statischen und dynamischen Messung überein? Wann stimmen sie nicht überein? Begründen Sie Ihre Aussage.

Mit Hilfe der nun bekannten Drehfederkonstante k' der Torsionsfeder kann das Massenträgheitsmoment J_{ges} von Drehtisch und Auto berechnet werden.

- h) Geben Sie das Massenträgheitsmoment J_{ges} von Drehtisch und Auto an.
- i) Welches Massenträgheitsmoment J_A hat das Auto?

Lösungsvorschlag **Aufgabe 1: Gierträgheitsmoment** (Autor: A. Jaeger)

a)

$$\omega_{ges} = 2\pi \cdot f_{ges} = \frac{2\pi}{T_{ges}} = 1,745 \frac{rad}{s}$$

b)

$$M_1 = r \cdot F_1 = 0,0398 Nm$$

$$M_2 = r \cdot F_2 = 0,0796 Nm$$

c)

$$M_1 = r \cdot F_1 = k'_1 \cdot \varphi_1 \Rightarrow k'_1 = \frac{M_1}{\varphi_1} = 0,02535 Nm$$

$$M_2 = r \cdot F_2 = k'_2 \cdot \varphi_2 \Rightarrow k'_2 = \frac{M_2}{\varphi_2} = 0,02535 Nm$$

d)

Da $k'_1 = k'_2$ ist das Drehmoment M linear abhängig von der Koordinate φ , dies ist ein Kennzeichen einer harmonischen Schwingung.

e)

$$J_T = \frac{1}{2} m_T \cdot R^2 = 0,00578 kg \cdot m^2$$

f)

$$k'_d = J_T \cdot \omega_T^2 = J_T \cdot \frac{4\pi^2}{T_T^2} = 0,02535 Nm$$

g)

Ja, sie stimmen überein, denn: $k'_1 = k'_2 = k'_d$

Es kommt zu Abweichungen, wenn die Drehschwingungen gedämpft werden, da gilt:

$$\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} < \omega_0$$

h)

$$J_{ges} = \frac{k'}{\omega_{ges}^2} = \frac{k'}{4\pi^2} T_{ges}^2 = 0,00832 kg \cdot m^2$$

i)

$$J_{ges} = J_A + J_T \Rightarrow J_A = J_{ges} - J_T = 0,002542 kg \cdot m^2$$

Wintersemester 2017/18	Blatt 3 (von 5)
Studiengang: TIB2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 1052010
Hilfsmittel: Manuskript, Literatur, Taschenrechner	Zeit: 90 Minuten

Aufgabe 2:

„Flüsterasphalt“

(20 Punkte)



An einer befahrenen Straße kann der Schallpegel durch geeignete Straßenbaumaßnahmen – beispielsweise durch Veränderung der Straßenoberfläche - reduziert werden. Der vom Fahrzeug ausgehende Schall wird hierbei teilweise vom Straßenbelag absorbiert. Die Schallabsorption ist besonders effizient an porösen Materialien mit einer großen inneren Oberfläche. Durch Verwendung von offenporigem Asphalt wurde eine Reduktion des Schallpegels um $\Delta L_1 = 5$ dB gegenüber normalem Asphalt (das ist eine Mischung von Schotter und Bitumen) demonstriert. Durch Resonatoren aus Ziegeln aus Polymerbeton wurde sogar eine Reduktion um $\Delta L_2 = 8$ dB gegenüber normalem Asphalt erzielt.

- Um welchen Faktor n_1 wird die Schallintensität durch den offenporigen Asphalt gegenüber normalem Asphalt reduziert?
- Um welchen Faktor n_2 wird die Schallintensität durch in den Straßenbelag integrierte Resonatoren aus Ziegeln aus Polymerbeton gegenüber normalem Asphalt reduziert?

In Spitzenverkehrszeiten fahren $\Delta N_A / \Delta t = 4000$ Fahrzeuge pro Stunde über die normal asphaltierte Straße. Es soll vereinfachend angenommen werden, daß jedes vorbeifahrende Fahrzeug die gleiche Schallintensität emittiert. Der zeitlich gemittelte Schallpegel L ergibt sich aus der Zahl der Fahrzeuge ΔN , die pro Zeiteinheit Δt die Straße passieren.

- Wieviel zusätzliche Fahrzeuge könnte die Straße in der Spitzenverkehrszeit aufnehmen, wenn statt normalem Asphalt ein offenporiger Asphalt verwendet wird und der resultierende Schallpegel dem der normal asphaltierten Straße entspricht?
- Wieviel zusätzliche Fahrzeuge könnte die Straße in der Spitzenverkehrszeit aufnehmen, wenn statt normalem Asphalt in den Straßenbelag integrierte Resonatoren aus Ziegeln aus Polymerbeton verwendet werden und der resultierende Schallpegel dem der normal asphaltierten Straße entspricht?

Lösungsvorschlag Aufgabe 2:

„Flüsterasphalt“ (Autor: A. Jaeger)

- a) Der Lautstärkepegel nimmt um $\Delta L_1 = L_A - L_{OA} = 5$ dB ab, wenn die Schallintensität von I_A auf $I_{OA} = I_A/n_1$ abfällt, d.h.:

$$\Delta L_1 = 5\text{dB} = 10 \cdot \lg\left(\frac{I_A}{I_0}\right)\text{dB} - 10 \cdot \lg\left(\frac{I_{OA}}{I_0}\right)\text{dB} \quad (\text{mit } I_0 = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2})$$

$$\Rightarrow \frac{5}{10} = 0,5 = \lg\left(\frac{I_A}{I_0}\right) - \lg\left(\frac{I_{OA}}{I_0}\right) = \lg\left(\frac{I_A}{I_{OA}}\right)$$

$$\Rightarrow n_1 = \frac{I_A}{I_{OA}} = 10^{0,5} = 3,16$$

- b) Der Lautstärkepegel nimmt um $\Delta L_2 = L_A - L_{Res} = 8$ dB ab, wenn die Schallintensität von I_A auf $I_{Res} = I_A/n_2$ abfällt, d.h.:

$$\Delta L_1 = 8\text{dB} = 10 \cdot \lg\left(\frac{I_A}{I_0}\right)\text{dB} - 10 \cdot \lg\left(\frac{I_{Res}}{I_0}\right)\text{dB} \quad (\text{mit } I_0 = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2})$$

$$\Rightarrow n_2 = \frac{I_A}{I_{Res}} = 10^{0,8} = 6,31$$

c)

$$\frac{\Delta N_{OA}}{\Delta t} = \frac{\Delta N_A}{\Delta t} \cdot n_1 = \frac{12650}{h} \Rightarrow \frac{\delta N_{OA}}{\Delta t} = \frac{\Delta N_{OA}}{\Delta t} - \frac{\Delta N_A}{\Delta t} = \frac{8650}{h}$$

d)

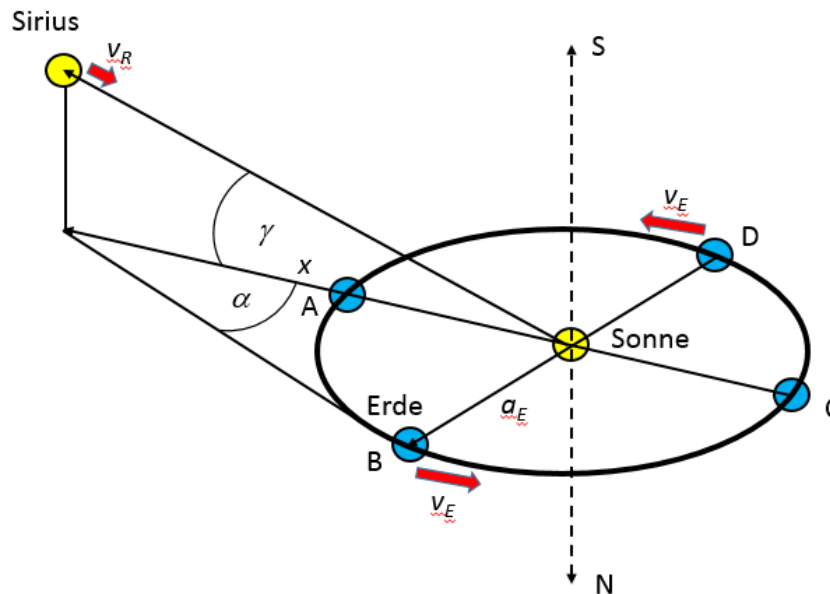
$$\frac{\Delta N_{Res}}{\Delta t} = \frac{\Delta N_A}{\Delta t} \cdot n_2 = \frac{25240}{h} \Rightarrow \frac{\delta N_{Res}}{\Delta t} = \frac{\Delta N_{Res}}{\Delta t} - \frac{\Delta N_A}{\Delta t} = \frac{21240}{h}$$

Wintersemester 2017/18	Blatt 4 (von 5)
Studiengang: TIB2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 1052010
Hilfsmittel: Manuskript, Literatur, Taschenrechner	Zeit: 90 Minuten

Aufgabe 3:

Sirius

(40 Punkte)



Der hellste Stern am Nachthimmel ist Sirius im Sternbild Großer Hund. Sirius steht $\gamma = 40^\circ$ südlich der näherungsweise kreisförmigen Bahn, die die Erde im Laufe eines Jahres (d.h. $T = 365,26$ Tage) im Abstand $a_E = 149,6 \cdot 10^6$ km um die Sonne durchläuft. Die Entfernung x von Sirius zur Sonne ist sehr groß (siehe Skizze, nicht maßstäblich). Deshalb ist der Parallaxenwinkel α sehr klein, er beträgt $\alpha = 0,379$ Bogensekunden.

- Welche Entfernung x hat Sirius zur Sonne? Geben Sie x sowohl in der SI-Einheit Meter als auch in Lichtjahren an.
- Geben Sie den Betrag der Bahngeschwindigkeit v_E der Erde an.

Am breiten Emissionsspektrum von Sirius, das sein Maximum bei $\lambda_{max} = 293$ nm hat, ist ersichtlich, daß dieser Stern ein thermischer Strahler ist. Allerdings sind im Spektrum auch Absorptionslinien von ionisiertem Wasserstoff erkennbar. Unter ungestörten Bedingungen liegen diese Wellenlängen beispielsweise bei:

$$\lambda_0(H_\alpha) = 656,278 \text{ nm};$$

$$\lambda_0(H_\beta) = 486,132 \text{ nm}; \dots\dots$$

- Welche durchschnittliche Temperatur T hat Sirius an der Oberfläche?

Wintersemester 2017/18	Blatt 5 (von 5)
Studiengang: TIB2	Semester 2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 1052010
Hilfsmittel: Manuskript, Literatur, Taschenrechner	Zeit: 90 Minuten

Fortsetzung von Aufgabe 3

- d) Was könnte die Ursache für die Absorptionslinien von ionisiertem Wasserstoff im Spektrum von Sternen wie Sirius sein?

Mit Fernrohr und hochauflösendem Spektrometer stellen Sie allerdings fest, daß die H_{α} -Absorptionslinie um $\Delta\lambda = 0,019$ nm zu kurzen Wellenlängen verschoben ist (d.h. $\lambda_A(H_{\alpha}) = \lambda_C(H_{\alpha}) = 656,259$ nm), wenn Sie sich in den Punkten A bzw. C der Erdbahn um die Sonne befinden.

- e) Wie groß ist auf Grund des Dopplereffekts die Relativgeschwindigkeit v_R (sogenannte Radialgeschwindigkeit) zwischen Sonnensystem und Sirius?
 f) Wenn sich diese Radialgeschwindigkeit v_R über längere Zeiträume nicht ändern würde, wieviele Jahre würde es dann dauern, bis Sirius und das Sonnensystem zusammentreffen?

Wenn Sie sich dagegen in den Punkten B bzw. D der Erdbahn um die Sonne befinden, messen Sie eine Rot- bzw. Blauverschiebung der H_{α} -Absorptionslinie infolge des Dopplereffekts.

- g) Berechnen Sie die Wellenlänge $\lambda_B(H_{\alpha})$ der H_{α} -Linie, die im Punkt B der Erdbahn um die Sonne gemessen wird.
 h) Berechnen Sie die Wellenlänge $\lambda_D(H_{\alpha})$ der H_{α} -Linie, die im Punkt D der Erdbahn um die Sonne gemessen wird.
 i) Fassen Sie Ihre Ergebnisse in folgender Tabelle zusammen:

Punkt der Erdbahn	$\lambda_i(H_{\alpha})$ in nm	$\Delta\lambda_i = \lambda_i(H_{\alpha}) - \lambda_0(H_{\alpha})$ in nm	Dopplerverschiebung (qualitativ)
Unbewegt	656,278	0	Keine
A, C	656,259	-0,019	blauverschoben
B			
D			

a)

$$\text{mit: } \alpha = 0^\circ 0' 0,379'' \text{ und } \tan \alpha = \frac{a_E}{x} \Rightarrow x = \frac{a_E}{\tan \alpha} = 8,142 \cdot 10^{16} \text{ m}$$

$$\text{mit: } x = c_0 t \Rightarrow t = \frac{x}{c_0} = 8,6 \text{ Jahre}$$

b)

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{v_E}{a_E} \Rightarrow v_E = 29,8 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

c)

$$\text{Wiensches Verschiebungsgesetz: } \lambda_{\text{max}} \cdot T = 2898 \mu\text{m} \cdot \text{K} \Rightarrow T = 9891 \text{ K}$$

d)

kühlere Sternatmosphäre enthält Wasserstoff, der Licht absorbiert

e)

Doppler-Effekt (elektromagnetische Welle) bei Annäherung (Blauverschiebung!):

$$f_B = f_Q \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} \quad \text{mit: } f_B = \frac{c_0}{\lambda_A} = 457,1365 \text{ THz} \quad \text{und} \quad f_Q = \frac{c_0}{\lambda_0} = 457,1234 \text{ THz}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{f_B}{f_Q} \right)^2 = \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_A} \right)^2 = K = \frac{c_0 + v_R}{c_0 - v_R} \quad \text{und Umstellen nach } v_R: \quad v_R = \frac{(K-1) \cdot c_0}{1+K} = 8,685 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

f)

$$v_R = \frac{x}{t} \Rightarrow t = \frac{x}{v_R} = 9,471 \cdot 10^{12} \text{ s} = 300.000 \text{ Jahre}$$

g)

Komponente der Radialgeschwindigkeit v_{RII} in der Erdbahnebene:

$$v_{RII} = v_R \cdot \cos \gamma = 6653 \frac{\text{m}}{\text{s}} \Rightarrow v_B = v_E - v_{RII} = 23147 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{Entfernung})$$

$$\Rightarrow f_B = f_Q \sqrt{\frac{c_0 - v_B}{c_0 + v_B}} = 457,08808 \text{ THz} \Rightarrow \lambda_B = \frac{c_0}{f_B} = 656,3286 \text{ nm}$$

h)

$$v_{RII} = v_R \cdot \cos \gamma = 6653 \frac{\text{m}}{\text{s}} \Rightarrow v_D = v_E + v_{RII} = 36453 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{Annäherung})$$

$$\Rightarrow f_D = f_Q \sqrt{\frac{c_0 + v_D}{c_0 - v_D}} = 457,17890 \text{ THz} \Rightarrow \lambda_D = \frac{c_0}{f_D} = 656,1983 \text{ nm}$$

i)

Punkt der Erdbahn	$\lambda_i (H_\alpha)$ in nm	$\Delta\lambda_i = \lambda_i (H_\alpha) - \lambda_0 (H_\alpha)$ in nm	Dopplerverschiebung <i>(qualitativ)</i>
Unbewegt	656,278	0	Keine
A, C	656,259	-0,019	blauverschoben
B	656,329	+0,051	rotverschoben
D	656,198	-0,080	blauverschoben