ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

HS 2016
Prof. Atac Imamoglu

Physik 1: Wellen und Thermodynamik
Schriftliche Prüfung am 25.1.2017, 9-11Uhr

Bitte in Druckschrift ausfüllen

Name:

Vorname:

StudentInnen Nr.:

- Bitte führen Sie alle Rechnungen und Zwischenrechnungen auf den bereitgestellten Blättern durch. Falls zusätzliche Blätter erforderlich sind, sind diese mit Ihrem Vor- und Nachnamen zu beschriften. Achten Sie darauf, dass Ihnen **fünf** Aufgaben ausgeteilt wurden.
- Ergebnisse ohne Rechnung oder ohne nachvollziehbare Begründung können nicht gewertet werden. Bei numerischen Ergebnissen genügt eine Genauigkeit von 10%; numerische Resultate können auch als Bruchzahl dargestellt werden, wobei die Brüche so weit wie möglich zu kürzen sind.
- Erlaubte Hilfsmittel sind eine selbstverfasste Zusammenfassung von 10 Blättern (DIN A4) beidseitig beschrieben (von Hand oder Computerausdruck) sowie ein Fremdwörterlexikon. NICHT erlaubt sind Taschenrechner, Laptops, PDAs, Mobiltelefone und vergleichbare Geräte.
- Legen Sie Ihre Legi vor sich auf den Tisch. Mobiltelefone müssen ausgeschaltet sein.
- Wir weisen Sie darauf hin, dass Sie im Falle von unehrlichen Handeln bei Prüfungen den Strafnormen der Disziplinarordnung der ETH Zürich unterstehen.

KORREKTUR:

Aufgabe	Punkte	AssistentIn
1	/ 14	
2	/ 14	
3	/ 10	
4	/ 16	
5	/ 6	
Σ	/ 60	

NOTE:

Aufgabe 1 - Gitarrist auf Lastwagen (14 Punkte)

Ein Gitarrist spielt auf der Bühne eines Lastwagens (siehe Abbildung unten). Seine elektrische Gitarre ist mit zwei Lautsprechern bei den Positionen A und B verbunden. Leider hören nur zwei Personen zu: eine bei Position C (gleich weit entfernt von A und B), die andere bei Position D.

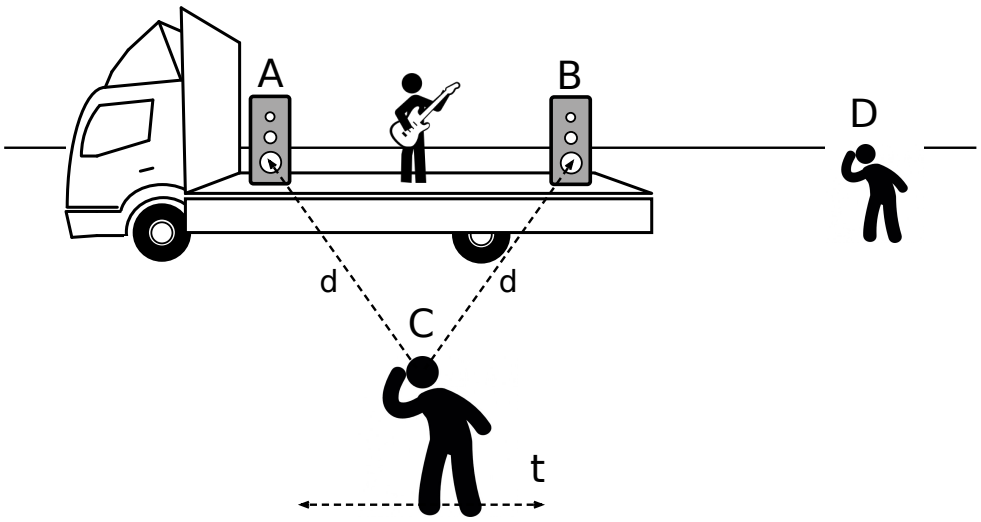
(a) Die Gitarre besitzt eine Stahlsaite der Länge $L = 50\,\text{cm}$, deren Grundton die Frequenz $f = 100\,\text{Hz}$ aufweist. Wie groß ist die Saitenspannung? Die Massendichte der Saite sei $\mu = 5\,\text{g/m}$. (**3 Punkte**)

(b) Jetzt wird der Verstärker angeschaltet, aber nur ein Lautsprecher funktioniert. Die Schallintensität im Abstand $d = 10\,\text{m}$ bei Punkt C beträgt $10\,\text{mW/m}^2$. Bestimmen Sie die Leistung des Lautsprechers. Nehmen Sie an, dass der Lautsprecher die Töne halbkugelförmig ausstrahlt. (**2 Punkte**)

(c) Jetzt funktionieren zwar beide Lautsprecher, aber die Person bei Position C kann trotz guten Gehörs keinen Ton des Gitarristens wahrnehmen. Erklären Sie dieses Phänomen mit Hilfe der Interferenz. Wie groß ist die Phasendifferenz, mit der die Lautsprecher emittieren? (**2 Punkte**)

(d) Die Person bewegt sich nun entlang der Linie t. Nach der Weglänge x nimmt die Person das erste Schallmaximum war. Geben Sie eine Gleichung für x an, die die konstruktive Interferenzbedingung der beiden Lautsprecher am Ort x beschreibt und mit deren Hilfe sie x bestimmen könnten (Sie müssen diese Gleichung aber nicht nach x auflösen!). (**5 Punkte**)

(e) Jetzt fährt der Lastwagen los, worauf die Person am Ort D einen Ton der Frequenz $f' = 99\,\text{Hz}$ vernimmt. Bestimmen Sie die Geschwindigkeit des Lastwagens. (**2 Punkte**)



Aufgabe 2 - Energie einer Superposition von stehenden Wellen (14 Punkte)

Eine schwingende Saite der Massendichte μ kann als eine Aneinanderreihung vieler kleinen Massensegmenten der Länge Δx und Masse $\Delta m = \mu \Delta x$ betrachtet werden. Die kinetische Energie eines Massensegments ΔE_{kin} ist dabei durch

$$\Delta E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \Delta m (\partial y / \partial t)^2 \,,$$

gegeben, wobei $y = y(x,t)$ die transversale Auslenkung des Massensegments am Ort x zur Zeit t beschreibt.

(a) Geben Sie eine Funktion an, die die transversale Auslenkung $y_n(x,t)$ des n-ten Schwingungsmoden einer beidseitig eingespannten Saite der Länge L mit Seilspannung F_{s} als Funktion von Ort x und Zeit t beschreibt. (**2 Punkte**)

(b) Berechnen Sie die kinetische Gesamtenergie $E_{\text{kin}}(n,t)$ für den n-ten Schwingungsmoden als Funktion der Zeit (summieren Sie hierzu ΔE_{kin} über alle Massensegmente bzw. integrieren Sie über die gesamte Saitenlänge L). (**5 Punkte**)

(c) Was ist die maximale kinetische Gesamtenergie $\hat{E}_{\text{kin}}(n)$, die während der Schwingung erreicht wird? Skizzieren Sie die Auslenkung y als Funktion des Ortes x für diesen Fall. (**2 Punkte**)

(d) Die Saite befinde sich nun in einer Superposition zweier stehenden Wellen

$$y(x,t) = y_{n_1}(x,t) + y_{n_2}(x,t)$$

mit den Modenzahlen n_1 und n_2. Bestimmen Sie analog zu Aufgabenteil (b) und (c) die maximale kinetische Gesamtenergie der Saite $\hat{E}_{\text{kin}}$ für diesen Fall. (**5 Punkte**)

Hinweis: Sie dürfen folgenden mathematischen Zusammenhang als gegeben voraussetzen:

$$\int_0^L \sin\left(\frac{n_1 \pi}{L} x\right) \sin\left(\frac{n_2 \pi}{L} x\right) dx = \begin{cases} L/2 & \text{für } n_1 = n_2 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \qquad (n_1, n_2 \in \mathbb{N})$$

Aufgabe 3 - Messung der spezifischen Wärmekapazität (10 Punkte)

Es soll die spezifische Wärmekapazität von Blei ermittelt werden. Dazu werden 500 g Bleischrot auf 120°C erhitzt und in ein thermisch isoliertes, verschließbares Aluminiumgefäß mit der Masse 200 g gegeben, in dem sich 500 g Wasser befinden. Die Anfangstemperatur des Kalorimeters bestehend aus dem wassergefüllten Aluminiumgefäß beträgt 17°C. Nach dem Erreichen des thermischen Gleichgewichts wird eine Endtemperatur von 20°C gemessen. Die spezifische Wärmekapazität von Aluminium beträgt näherungsweise $c_{\mathrm{Al}} \approx 1\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}\,K^{-1}}$, die von Wasser $c_{\mathrm{W}} \approx 4\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}\,K^{-1}}$.

(a) Wie groß ist die spezifische Wärmekapazität von Blei? (**7 Punkte**)

(b) Können 1 kg Bleischrot, das auf 100°C erhitzt wird, 100 g Eis bei 0°C vollständig zum Schmelzen bringen? Begründen Sie Ihre Antwort. Die Schmelzwärme von Eis beträgt $\lambda_{\mathrm{S}} = 334\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}}$. (**3 Punkte**)

Aufgabe 4 - Dreistufiger Kreisprozess (16 Punkte)

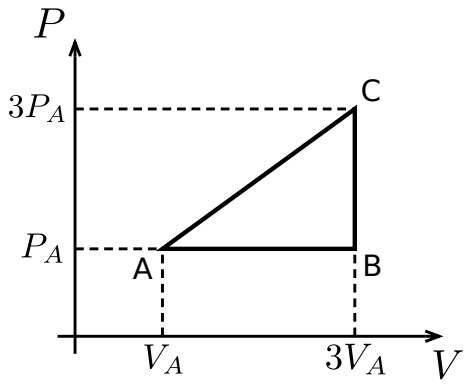
Ein ideales, einatomiges Gas mit Stoffmenge $n = 0,9\,\text{mol}$ durchläuft einen dreistufigen Kreisprozess (siehe Abbildung unten), wobei der Druck $P_A = 4,15\,\text{bar}$ und das Volumen $V_A = 1\,\text{l}$ im Punkt A gegeben sind.

(a) In welche Richtung muss der Kreisprozess betrieben werden, damit er als Wärmekraftmaschine funktioniert? Begründen Sie Ihre Antwort. (**2 Punkte**)

(b) Bestimmen sie (algebraisch und numerisch) die maximale Temperatur, die das Gas im Kreisprozess erreicht.
(**4 Punkte**)

(c) Bestimmen Sie (algebraisch und numerisch) den Wirkungsgrad der Wärmekraftmaschine. (**6 Punkte**)

(d) Bestimmen Sie (algebraisch) die Entropieänderung des Gases während des Teilprozesses C $\rightarrow$ B. (**4 Punkte**)



Aufgabe 5 - Gleichzeitigkeit (6 Punkte)

Im Bezugssystem S findet das Ereignis B genau $4\,\mu s$ nach dem Ereignis A statt. Der räumliche Abstand zwischen den beiden Ereignissen beträgt $\Delta x = 12\,km$.

(a) Wie schnell muss sich ein Beobachter entlang der positiven x-Achse bewegen, damit die Ereignisse A und B für ihn gleichzeitig stattfinden? (**5 Punkte**)

(b) Kann es einen Beobachter geben, für den das Ereignis B vor dem Ereignis A stattfindet? (**1 Punkt**)

Zusatzblatt #1

Zusatzblatt #2