ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

FS 2017
Prof. Atac Imamoglu

Physik 1: Wellen und Thermodynamik
Schriftliche Prüfung am 9.8.2017, 12-14Uhr

Bitte gut leserlich in Druckschrift ausfüllen

Name:

Vorname:

Studenten-/Studentinnen-Nr.:

- Achten Sie darauf, dass Ihnen **fünf** Aufgaben ausgeteilt wurden. Bitte führen Sie alle Rechnungen und Zwischenrechnungen auf den bereitgestellten Blättern durch. Zwei Zusatzblätter befinden sich am Ende der Prüfungsbögen. Falls weitere Blätter erforderlich sind, sind diese mit Ihrem Vor- und Nachnamen zu beschriften.
- Ergebnisse ohne nachvollziehbare Begründung können nicht gewertet werden. Sämtliche Resultate aus der Vorlesung und den Übungen dürfen als gegeben vorausgesetzt werden und müssen nicht begründet 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, 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	/ 13	
2	/ 15	
3	/ 10	
4	/ 15	
5	/ 7	
Σ	/ 60	

NOTE:

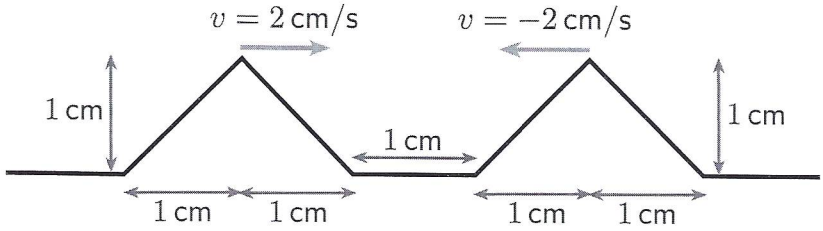
Aufgabe 1 - Dreieckige Wellenpakete (13 Punkte)

(a) Ein dreieckiges Wellenpaket bewege sich mit der Geschwindigkeit v in die positive x-Richtung entlang einer gespannten Saite. Zum Zeitpunkt $t = 0$ sei die transversale Auslenkung der Saite $y(x,t)$ durch die Dreiecksfunktion $tri(x)$ gegeben,

$$y(x,0) = tri(x) = \begin{cases} 0 & \text{für } x < -L \\ h(L+x)/L & \text{für } -L < x < 0 \\ h(L-x)/L & \text{für } 0 < x < L \\ 0 & \text{für } x > L \end{cases},$$

wobei h die Höhe und L die halbe Basislänge des Dreiecks beschreibt. Geben Sie die Wellenfunktion $y(x,t)$ für beliebige Zeiten t an. (**3 Punkte**)

(b) Wir betrachten nun zwei dreieckige Wellenpakete, die aufeinander zulaufen. Die beiden Wellenpakete besitzen die gleiche Form und sind gleich schnell. Zum Zeitpunkt $t = 0$ sind die führenden Flanken genau 1 cm voneinander entfernt:



Skizzieren Sie die Form der Saite zu den Zeitpunkten $t = 0,25\,\text{s}$, $t = 0,5\,\text{s}$, $t = 0,75\,\text{s}$, $t = 1\,\text{s}$ und $t = 1,25\,\text{s}$. (**5 Punkte**)

(c) Die Gesamtenergie, die in einem Wellenpaket gespeichert ist, lässt sich analog zur Vorlesung als Integral über die Energiedichte der Saite beschreiben,

$$E = \int_{-\infty}^{+\infty} dx \left(\frac{T}{2} \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 + \frac{\rho}{2} \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 \right),$$

wobei T die Seilspannung und ρ die Massendichte bezeichnet. Was ist die Gesamtenergie des dreieckigen Wellenpaketes aus Aufgabenteil (a)? (**5 Punkte**)

Aufgabe 2 - Schallphänomene (15 Punkte)

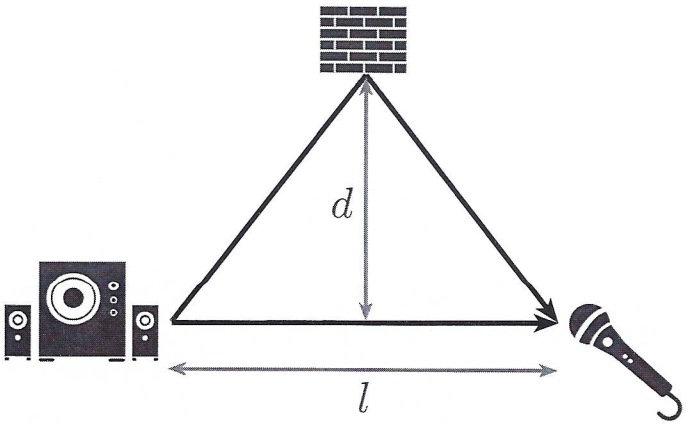
(a) Zwei Violinsaiten werden auf dieselbe Frequenz von 294 Hz gestimmt. Die Spannung der einen Saite wird anschließend um 2 Prozent vermindert. Wie groß ist die Frequenz der Schwebung, wenn die beiden Saiten gemeinsam klingen? *Hinweis:* $\sqrt{0,98} \simeq 0,99$ (**3 Punkte**)

(b) Eine Orgelpfeife hat Resonanzen bei 1310 Hz, 1834 Hz und 2358 Hz, nicht jedoch bei dazwischenliegenden Frequenzen. Handelt es sich um eine offene oder einseitig geschlossene Orgelpfeife? Begründen Sie Ihre Antwort. (**3 Punkte**)

(c) Eine Gitarrensaite wird in ihrer Mitte gezupft, wobei die Saite dabei kurzzeitig die Form eines Dreiecks annimmt. Beim ersten Zupfen betrage die Auslenkung in der Saitenmitte 1 mm, beim zweiten Zupfen 10 mm. Die Saitenspannung kann dabei als konstant und die Auslenkung als hinreichend klein angenommen werden. In welchem Verhältnis stehen die abgegebenen Schallenergien zueinander? Geben Sie Ihr Ergebnis in Dezibel an. (**3 Punkte**)

(d) Eine Tuba wird mit 75 Hz auf einem fahrenden Zugwaggon gespielt. Eine zweite, ruhende Tuba spielt denselben Ton auf dem Bahnsteig. Welche Schwebungsfrequenz ist zu hören, wenn sich der Zug dem Bahnsteig mit einer Geschwindigkeit von 10 m/s nähert? Die Schallgeschwindigkeit beträgt 340 m/s. *Bemerkung: Dieses Experiment wurde im Jahr 1845 auf der Bahntrasse zwischen Utrecht und Maarssen tatsächlich durchgeführt.* (**3 Punkte**)

(e) Ein Mikrofon zeichnet den Klang einer Schallquelle der Frequenz f auf. Die Schallwelle gelangt dabei sowohl auf direktem Weg (der Länge l) als auch als Reflexion an einer Wand zum Mikrofon:



Wie muss der Abstand d gewählt werden, um konstruktive Interferenz am Ort des Mikrofons zu erzeugen? (**3 Punkte**)

Aufgabe 3 - Eine Tasse Tee (10 Punkte)

(a) Paul macht sich eine Tasse Tee. Die Tasse umfasst 250 ml Wasser bei einer anfänglichen Temperatur von 77°C . Während Paul darauf wartet, dass der Tee abkühlt, wird er müde und schläft ein. Als er wieder aufwacht, hat der Tee bereits die Raumtemperatur von 27°C angenommen. Um welchen Betrag hat sich die Entropie des Universums während Pauls Schlaf durch das Abkühlen des Tees erhöht? Die spezifische Wärmekapazität von Wasser beträgt näherungsweise $c_W \approx 4\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}\,K^{-1}}$. *Hinweis:* $\ln(6/7) \simeq -0.154$ (**7 Punkte**)

(b) Da es ohnehin ein heißer Tag ist, beschließt Paul, Eistee herzustellen. Dazu stellt er die Tasse in den Gefrierschrank, der dem Tee Wärmeenergie mit 25 J/s entzieht. Natürlich verschläft Paul auch diesmal den richtigen Zeitpunkt, den Tee zu konsumieren. Als er aufwacht, ist der Tee bereits komplett gefroren. Wie lange hat Paul mindestens geschlafen? Die Schmelzwärme von Eis beträgt näherungsweise $\lambda_S \simeq 340\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}}$. (**3 Punkte**)

Aufgabe 4 - Diesel-Kreisprozess (15 Punkte)

Ein ideales Gas durchläuft den vierstufigen Diesel-Kreisprozess:

(i) $(p_1, V_1) \to (p_2, V_2)$: adiabatische Kompression,
(ii) $(p_2, V_2) \to (p_3, V_3)$: isobares Erhitzen (konstanter Druck),
(iii) $(p_3, V_3) \to (p_4, V_4)$: adiabatische Expansion,
(iv) $(p_4, V_4) \to (p_1, V_1)$: isochores Abkühlen (konstantes Volumen).

Die Stoffmenge in Mol werde mit n bezeichnet.

(a) Skizzieren Sie diesen Kreisprozess in einem $p - V$- Diagramm. (**3 Punkte**)

(b) Bestimmen Sie die vom heißen Reservoir aufgenommene Wärme während eines Durchgangs des Kreisprozesses. Schreiben Sie Ihr Ergebnis als Funktion von Drücken und Volumina. (**3 Punkte**)

(c) Bestimmen Sie die vom Gas geleistete Arbeit W während eines Durchgangs des Kreisprozesses. Schreiben Sie Ihr Ergebnis als Funktion von Drücken und Volumina. (**4 Punkte**)

(d) Bestimmen Sie den Wirkungsgrad des Diesel-Kreisprozesses. Zeigen Sie insbesondere, dass dieser durch die Volumina V_1, V_2, V_3 und den Adiabatenkoeffizienten $\gamma = C_p/C_V$ eindeutig festgelegt wird. (**5 Punkte**)

Aufgabe 5 - Äquivalenz von Energie und Masse (7 Punkte)

(a) Nehmen Sie an, dass Ihr örtlicher Stromversorger für jede Kilowattstunde Strom einen Preis von $0,2$ CHF verlangt. Aufgrund der Äquivalenz von Masse und Energie könnte der Stromanbieter auch in Gramm oder Kilogramm abrechnen anstatt in Kilowattstunden. Wie hoch wäre die Rechnung eines Kunden, der 1 kg Energie bezogen hat? (**4 Punkte**)

(b) Ein quaderförmiger Körper der Ruhemasse m habe die Länge L, Breite B und Höhe H (Eigenlängen). Der Quader bewege sich mit einer Geschwindigkeit v relativ zu einem Beobachter. Welche Dichte, definiert als die relativistische Gesamtenergie pro Volumen, hat der Quader aus Sicht dieses Beobachters? (**3 Punkte**)