Physik I - Schriftliche Sessionsprüfung Januar 2022

Montag, 24. Januar 2022, 14:30 – 16:30, HPV G 4

Bitte zur Kenntnis nehmen:

- Es befinden sich insgesamt **6** Aufgaben auf den **nummerierten Seiten 1 bis 7**. Die Punkte der einzelnen Teile einer Aufgabe sind in eckigen Klammern am Ende jedes Aufgabenteils ausgewiesen.
- Eine Tabelle mit physikalischen Konstanten befindet sich auf der Rückseite des Deckblattes.
- Sie sind berechtigt eine eigenständig verfasste Zusammenfassung (von Hand oder Computer-Ausdruck) auf bis zu 10 beidseitig beschriebenen A4-Blättern, sowie einen Taschenrechner ohne Kommunikationsmöglichkeit und ein Übersetzungswörterbuch zu verwenden.
- Bitte schreiben Sie KLAR und DEUTLICH. Falls wir Ihre Handschrift nicht lesen können, können wir leider keine Punkte vergeben.
- Bitte fügen Sie UNTEN IHREN NAMEN ein. Die Prüfungsunterlagen einschliesslich des Deckblattes werden am Ende der Prüfung zu Ihren Antworten geheftet.
- Bitte schreiben Sie Ihren Namen auf jedes Ihrer abgegebenen Blätter.
- Während der Prüfung steht die Prüfungsaufsicht zur Beantwortung Ihrer Fragen zur Verfügung. Zögern Sie daher nicht, bei Unklarheiten zu fragen.
- *Multiple Choice* Fragen werden bei richtiger Antwort mit der angegebenen Punktzahl bewertet. Bei fehlendem oder falschem Kreuz gibt es 0 Punkte. Der Lösungsweg wird bei *Multiple Choice* Fragen nicht bewertet.

NACHNAME:	VORNAME:	LEGI NR.:	UNTERSCHRIFT:

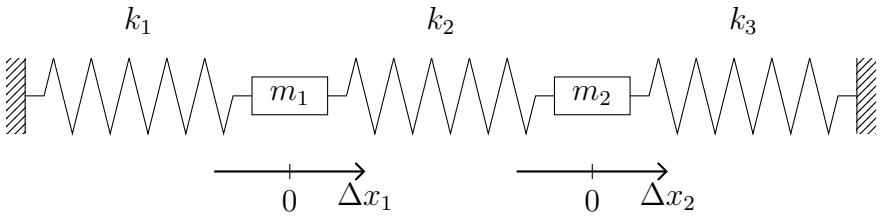
Aufgabe	1	2	3	4	5	6	GESAMT
Punkte							
Max	8	7.5	9.5	8	8	11	52

Tabelle physikalischer Konstanten

Grösse	**Symbol**	**Wert**		**Einheit**
Gravitationsbeschleunigung Erde	g	9.81		$\mathrm{m\,s^{-2}}$
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum:	c	2.998	$\cdot 10^{8}$	$\mathrm{m\,s^{-1}}$
Magnetische Feldkonstante:	μ_0	$4\,\pi$	$\cdot 10^{-7}$	$\mathrm{V\,s\,A^{-1}\,m^{-1}}$
Elektrische Feldkonstante:	ϵ_0	8.854	$\cdot 10^{-12}$	$\mathrm{A\,s\,V^{-1}\,m^{-1}}$
Elementarladung:	e	1.602	$\cdot 10^{-19}$	C
Normtemperatur: (0 °C)	T	273.15		K
Avogadro-Konstante:	N_A	6.022	$\cdot 10^{23}$	$\mathrm{mol^{-1}}$
Boltzmann-Konstante:	k	1.381	$\cdot 10^{-23}$	$\mathrm{J\,K^{-1}}$
Universelle Gaskonstante:	R	8.315		$\mathrm{J\,mol^{-1}\,K^{-1}}$
spezifische Wärmekapazität von Wasser	c_{Wasser}	4.18	$\cdot 10^{3}$	$\mathrm{J\,(kg)^{-1}\,K^{-1}}$
Dichte von Wasser	ρ_{Wasser}	1.00	$\cdot 10^{3}$	$\mathrm{kg\,m^{-3}}$
molare Masse von Wasserstoff (H_2)	$M_{\mathrm{H_2}}$	2.0	$\cdot 10^{-3}$	$\mathrm{kg\,mol^{-1}}$
molare Masse von Helium (He)	M_{He}	4.0	$\cdot 10^{-3}$	$\mathrm{kg\,mol^{-1}}$
molare Masse von Luft	M_{Luft}	29	$\cdot 10^{-3}$	$\mathrm{kg\,mol^{-1}}$
Schallgeschwindigkeit in Luft	$v_{\mathrm{S,Luft}}$	343		$\mathrm{m\,s^{-1}}$

1. **Schwingungen** [$\sum 8$]

Wir betrachten die folgende Anordnung aus zwei Massen $m_1 = m_2 = m$ und drei Federn mit den Federkonstanten k_1, k_2 und k_3, wobei $k_1 = k_3 = k$ gilt.



Die Koordinaten Δx_1 und Δx_2 geben die Auslenkung der Masse m_1 bzw. m_2 aus der Ruhelage an. Reibung, Gravitation und die Massen der Federn sollen vernachlässigt werden.

(a) Stellen Sie für die asymmetrische Schwingungsmode ($\Delta x_1 = \Delta x_2$) die Differentialgleichung für Δx_1 auf und ermitteln Sie die zugehörige Eigenkreisfrequenz ω_{asym}. [1.5]

Hinweis: Berücksichtigen Sie nur Kräfte, die sich im Fall $\Delta x_1 = \Delta x_2$ im Vergleich zur Ruhelage verändern.

(b) Geben Sie für die symmetrische Schwingungsmode ($\Delta x_1 = -\Delta x_2$) die Änderung $\Delta \ell_2$ der Länge der mittleren Feder gegenüber der Ruhelage als Funktion von Δx_1 an. [0.5]

(c) Stellen Sie für die symmetrische Schwingungsmode ($\Delta x_1 = -\Delta x_2$) die Differentialgleichung für Δx_1 auf und ermitteln Sie die zugehörige Eigenkreisfrequenz ω_{sym}. [1.5]

Hinweis: Überlegen Sie, welche Kräfte sich im Fall $\Delta x_1 = -\Delta x_2$ im Vergleich zur Ruhelage verändern.

(d) Die beiden Massen werden an den Positionen $\Delta x_1(0) = A$, $\Delta x_2(0) = -A$ festgehalten und zum Zeitpunkt $t = 0$ losgelassen. Bestimmen Sie die gesamte Energie im oszillierenden System. Berechnen Sie daraus den Betrag $|v_2(t)|$ der Geschwindigkeit der Masse m_2 zum Zeitpunkt t eines Nulldurchgangs (d. h. wenn $\Delta x_2(t) = 0$). [3.5]

(e) Wie muss k_2 in Abhängigkeit von k gewählt werden, wenn für die Periodendauern T_{asym} der asymmetrischen und T_{sym} der symmetrischen Schwingungsmode der Zusammenhang $T_{\text{asym}} = 2T_{\text{sym}}$ gelten soll? [1]

2. **Fischer** [$\sum 7.5$]
Ein Fischer blickt von seinem Boot aus unter einem Winkel von $\theta_1 = 45°$ auf die Seeoberfläche und erspäht dabei einen Fisch, der sich $t = 0.5\,\mathrm{m}$ unter der Wasseroberfläche aufhält. Der Fischer nimmt den Fisch wahr, indem vom Fisch gestreutes Licht in sein Auge gelangt. Die Augen des Fischers befinden sich in einer Höhe $h = 1\,\mathrm{m}$ über der Seeoberfläche. Der Brechungsindex von Wasser ist $n_\mathrm{W} = 1.33$.

   (a) Fertigen Sie eine Skizze an, die den Verlauf eines Lichtstrahls zeigt, der ausgehend vom Fisch nach Austritt aus dem Wasser unter dem Blickwinkel $\theta_1 = 45°$ in das Auge des Fischers gelangt. [1]

   (b) Unter welchem Winkel θ_0 zur Normalen der Wasseroberfläche verläuft dieser Lichtstrahl im Wasser? [1.5]

   (c) Berechnen Sie den (euklidischen) Abstand zwischen Fisch und Fischer. [2]

   (d) Vom Fisch ausgehende Lichtstrahlen können nur in einem begrenzten Bereich der Seeoberfläche über dem Fisch austreten. Bestimmen Sie Form und Fläche dieses Bereichs. Welches physikalische Phänomen limitiert diese Fläche? [3]

3. **Orgelpfeife** [$\sum 9.5$]
In einer Orgelpfeife der Länge L mit einem geschlossenen Ende (bei $x = 0$) und einem offenen Ende (bei $x = L$) werden stehene Schallwellen angeregt. Die Schallauslenkung (longitudinale Auslenkung der Luftmoleküle) wird durch stehende Wellen der Form

$$\xi(x,t) = A\,\sin(kx + \varphi)\sin(\omega t) \tag{1}$$

beschrieben, wobei k der Wellenvektor, φ eine Phase und ω die Kreisfrequenz der Welle sind.

(a) Zeigen Sie explizit durch Einsetzen, dass $\xi(x,t)$ die Wellengleichung

$$\frac{\partial^2 \xi(x,t)}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 \xi(x,t)}{\partial x^2} \tag{2}$$

erfüllt, wenn eine geeignete Beziehung zwischen k, ω und der Phasengeschwindigkeit v der Welle besteht. Geben Sie diese Beziehung aufgelöst nach ω an. [2]

(b) Geben Sie die Randbedingungen an, die $\xi(x,t)$ in der betrachteten Orgelpfeife erfüllen muss, und bestimmen Sie daraus die möglichen Werte von k. [2]

(c) Geben Sie für die 3. Harmonische (Schwingung beim Dreifachen der Grundfrequenz) alle Koordinaten x an, an denen sich Luftdruckbäuche befinden. [2.5]

(d) Eine zweite Orgelpfeife habe beidseitig offene Enden und die gleiche Fundamentalfrequenz wie die erste Orgelpfeife. Geben Sie die Länge L_2 der zweiten Orgelpfeife in Abhängigkeit der Länge L der ersten Orgelpfeife an. [1.5]

(e) Die zweite Orgelpfeife sei nun etwas verstimmt. Bei Anregung der Fundamentalschwingungen beider Pfeifen ist ein Ton zu hören, der mit 5 Hz seine Lautstärke ändert. Benennen Sie das beschriebene Phänomen. Um welchen Betrag $|\Delta\nu|$ weicht die Fundamentalfrequenz der zweiten Orgelpfeife von der Fundamentalfrequenz der ersten Orgelpfeife ab? [1.5]

4. **Laser** [$\sum 8$]

Ein Laserstrahl mit Wellenlänge λ und einer Leistung von 100 mW wird an einem 60:40 Strahlteiler (ST) aufgeteilt, d.h. 60 % der einfallenden Leistung werden reflektiert und 40 % transmittiert. Der reflektierte Strahl wird über zwei Spiegel (Sp) umgelenkt und mittels eines zweiten, identischen Strahlteilers wieder mit dem ursprünglichen Strahl überlagert, siehe Abb. 1 a, sodass es zur Interferenz kommt. Der Laserstrahl habe einen effektiven Durchmesser von 5 mm, d.h. wir nehmen an, dass der Laserstrahl innerhalb dieses Durchmessers einheitlich intensiv ist und ausserhalb davon die Intensität null ist.

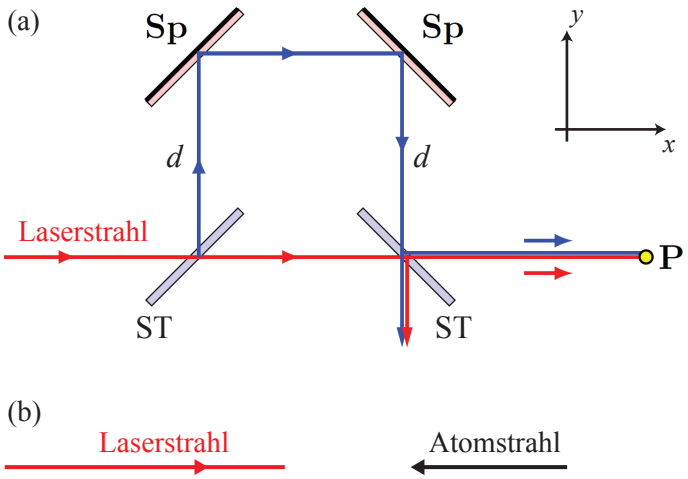


Abbildung 1

(a) Berechnen Sie die Intensität des Laserstrahls bevor er aufgeteilt wird. [1]

(b) Der Abstand d zwischen erstem Strahlteiler und erstem Spiegel bzw. zwischen zweitem Strahlteiler und zweitem Spiegel (siehe Abb. 1 a) sei so gewählt, dass die zwei Strahlen am Punkt P destruktiv interferieren. Berechnen Sie die Leistung P_{des} im Punkt P. [3]

(c) Nun werden die zwei Spiegel Sp gleichmässig entlang der positiven y-Achse verschoben. Bei einer Distanz von $\Delta d = 532\,\text{nm}$ tritt erstmals ein Interferenzmaximum (konstruktive Interferenz) im Punkt P auf. Wie gross ist die Wellenlänge λ des Laserstrahls? [2]

(d) Nun werde ein anderer Laserstrahl mit Wellenlänge $\lambda = 800\,\text{nm}$ gegenläufig auf einen Strahl bestehend aus Atomen mit einer Geschwindgkeit von $v_{\text{A}} = 100\,\text{m/s}$ gerichtet, siehe Abb. 1 b. Berechnen Sie, um welchen Wert $\Delta\nu$ die von den Atomen wahrgenommene Frequenz von der Frequenz des Lasers abweicht. Wie heisst das zu Grunde liegende physikalische Phänomen? [2]

5. **Kryostat** [$\sum 11$]

In einem Physiklabor soll ein Kühlgerät für tiefe Temperaturen (Kryostat) eine Temperatur von $T_\mathrm{K} = 150\,\mathrm{K}$ halten. Hierzu muss eine Kältemaschine die Wärme entnehmen, die im Kryostat anfällt (z.B. durch nicht perfekte Wärmeisolierung oder durch Wärmeeintrag der Experimente, die im Kryostat durchgeführt werden).

Es wird eine technische Implementierung des idealisierten Kreisprozesses verwendet, der in Abbildung 2 gezeigt ist. Der Prozess besteht aus zwei isothermen Zustandsänderungen und zwei isochoren Zustandsänderungen. Das Arbeitsgas ist Helium.

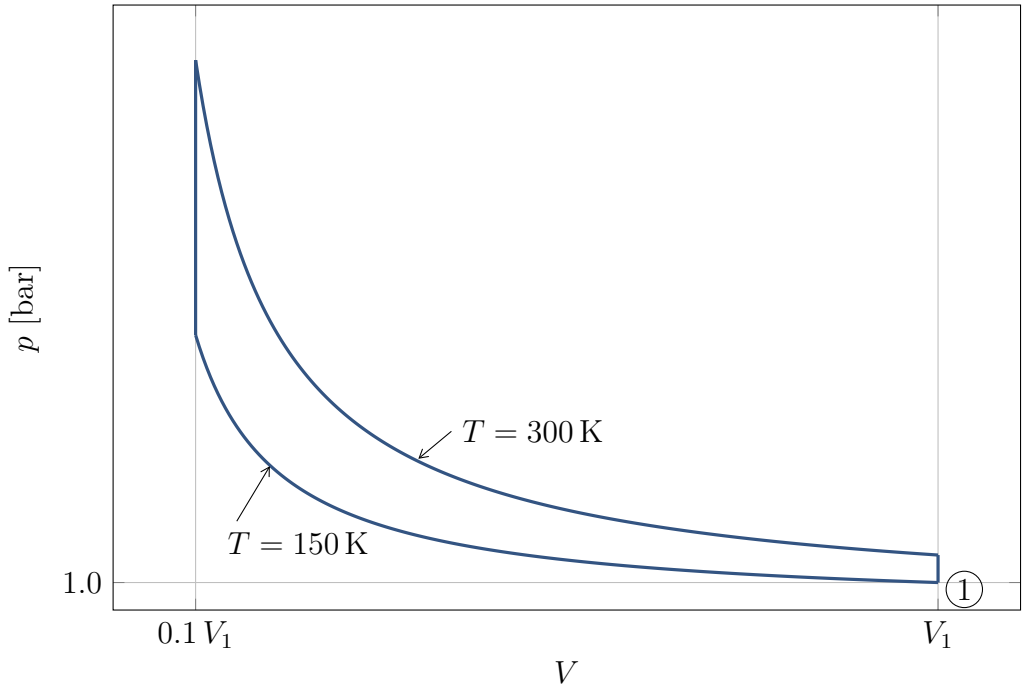


Abbildung 2 – pV-Diagramm eines thermodynamischen Kreisprozesses.

(a) Nummerieren Sie die weiteren drei Zustände zwischen den Prozessschritten in Abbildung 2 gemäss der Reihenfolge, in welcher der Kreisprozess durchlaufen werden muss, damit dieser als Kältemaschine funktioniert. [0.5]

(b) Berechnen Sie den Druck p_i an den nummerierten Zuständen $i \in \{2, 3, 4\}$. [2.5]

(c) Berechnen Sie die Arbeit pro Stoffmenge $\Delta W_{ij}^{\swarrow} / \tilde{n}$, die während eines kompletten Umlaufs am Arbeitsgas verrichtet wird. [3.5]

(d) Berechnen Sie die Änderung der inneren Energie pro Stoffmenge während der isochoren Abkühlung. [2.5]

(e) Bestimmen Sie den Wirkungsgrad der Kältemaschine. [2]

Hinweis: Nehmen Sie an, dass die Wärmeabgabe während der isochoren Abkühlung an das kalte Reservoir erfolgt, und überlegen Sie, in welchem weiteren Prozessschritt ein Wärmeaustausch mit dem kalten Reservoir stattfindet.

NACHNAME:	VORNAME:	LEGI NR.:

6. **Wetterballon** [$\sum 8$]

Bewertung der Aufgabe: Multiple Choice. Jede richtig beantwortete Teilaufgabe wird mit 2 Punkten bewertet, jede falsch beantwortete Teilaufgabe mit 0 Punkten.

Kreuzen Sie in jeder Teilaufgabe die richtige Aussage an. In allen Teilaufgaben ist jeweils **nur eine** der möglichen Aussagen richtig!

Ein Wetterballon wird bei einem Umgebungsdruck von $p_{\mathrm{U},0} = 1000\,\mathrm{mbar}$ und einer Temperatur von $20\,^{\circ}\mathrm{C}$ mit Helium befüllt, so dass sich im Ballon der Druck $p_{\mathrm{B},0} = 1050\,\mathrm{mbar}$ und das Volumen $V_0 = 0.080\,\mathrm{m}^3$ ergibt.

Hinweise:

- Die Auftriebskraft entspricht der Gewichtskraft der verdrängten Umgebungsluft.
- Das Volumen der Ballonhülle kann vernachlässigt werden.
- Modellieren Sie alle Gase als ideale Gase.
- Verwenden Sie für physikalische Konstanten die auf der Rückseite des Deckblattes gegebenen Werte.

(a) Wie gross ist die Auftriebskraft?

☐ ungefähr $9.3 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{N}$
☐ ungefähr $9.8 \cdot 10^{-2}\,\mathrm{N}$
☐ ungefähr $0.14\,\mathrm{N}$
☐ ungefähr $0.32\,\mathrm{N}$
☐ ungefähr $0.93\,\mathrm{N}$
☐ ungefähr $0.98\,\mathrm{N}$
☐ ungefähr $14\,\mathrm{N}$
☐ ungefähr $32\,\mathrm{N}$

(b) Der Ballon steigt und erreicht einen Bereich der Atmosphäre, in dem sich als Druck im Ballon $p_{\mathrm{B},1} = 210\,\mathrm{mbar}$ ergibt. Bestimmen Sie das Volumen V_1, das die Ballonfüllung in diesem Moment einnimmt, unter Verwendung der Näherung $T_1 \approx T_0$. Überlegen Sie anschliessend, wie sich das Ergebnis qualitativ verändert, wenn berücksichtigt wird, dass sich das Gas auf Grund der kälteren Umgebung auf eine Temperatur $T_1 < T_0$ abkühlt. Welche Aussagen erhalten Sie?

☐ $V_1 \approx 0.016\,\mathrm{m}^3$ für $T_1 \approx T_0$ und $V_1 < 0.016\,\mathrm{m}^3$ für $T_1 < T_0$
☐ $V_1 \approx 0.016\,\mathrm{m}^3$ für $T_1 \approx T_0$ und $V_1 > 0.016\,\mathrm{m}^3$ für $T_1 < T_0$
☐ $V_1 \approx 0.08\,\mathrm{m}^3$ für $T_1 \approx T_0$ und $V_1 < 0.08\,\mathrm{m}^3$ für $T_1 < T_0$
☐ $V_1 \approx 0.08\,\mathrm{m}^3$ für $T_1 \approx T_0$ und $V_1 > 0.08\,\mathrm{m}^3$ für $T_1 < T_0$
☐ $V_1 \approx 0.4\,\mathrm{m}^3$ für $T_1 \approx T_0$ und $V_1 < 0.4\,\mathrm{m}^3$ für $T_1 < T_0$
☐ $V_1 \approx 0.4\,\mathrm{m}^3$ für $T_1 \approx T_0$ und $V_1 > 0.4\,\mathrm{m}^3$ für $T_1 < T_0$

NACHNAME:	VORNAME:	LEGI NR.:

(c) Wie verhält sich die Auftriebskraft während des Aufstiegs des Ballons? Nehmen Sie an, dass innerhalb des Ballons stets die gleiche Temperatur herrscht wie in seiner Umgebung und dass die Druckdifferenz zwischen Ballonfüllung und Umgebung $\Delta p = p_{\mathrm{B}} - p_{\mathrm{U}} = 50\,\mathrm{mbar}$ konstant bleibt.

- ☐ Die Auftriebskraft nimmt während des Aufstiegs zu, und zwar indirekt proportional zum Umgebungsdruck.
- ☐ Die Auftriebskraft nimmt während des Aufstiegs zu, jedoch nicht indirekt proportional zum Umgebungsdruck.
- ☐ Die Auftriebskraft nimmt während des Aufstiegs ab, und zwar direkt proportional zum Umgebungsdruck.
- ☐ Die Auftriebskraft nimmt während des Aufstiegs ab, jedoch nicht direkt proportional zum Umgebungsdruck.
- ☐ Die Auftriebskraft bleibt während des Aufstiegs konstant.

(d) Welche der folgenden Aussagen ist zutreffend, wenn der Ballon mit Wasserstoff (H_2) anstatt mit Helium befüllt wird und alle anderen Angaben unverändert bleiben?

- ☐ Die Auftriebskraft ist grösser.
- ☐ Die Masse der Gasfüllung ist geringer.
- ☐ Die Stoffmenge der Gasfüllung ist grösser.
- ☐ Die molare Wärmekapazität der Gasfüllung ist geringer.

Sie dürfen dieses Prüfungsheft erst dann umdrehen, aufblättern oder beschreiben, wenn die Aufsicht dazu auffordert.