

Probeklausur: Thermodynamik

Vorname: _____ Nachname: _____

Matrikelnummer: _____

Studiengang: _____ Fachsemester: _____

- Studierende der E2p (6 ECTS) müssen die mit * markierten (Teil-)Aufgaben nicht bearbeiten.
- Bitte schreiben Sie Ihren Namen auf jede Seite und legen Sie Ihren Lichtbildausweis bereit.
- Nur dokumentenechte Schreiber verwenden. Blätter mit Eintragungen von Bleistift, Tippex oder Tintenkiller können nicht bewertet werden!
- Hilfsmittel: Taschenrechner, ein beidseitig beschriebenes DIN A4 Blatt, Wörterbuch
- Bearbeitungszeit: 90 min
- Ergebnisse bitte nur auf die Aufgabenblätter (ggf. auch die Rückseiten beschreiben).
- Viel Erfolg!

Aufgabe	Erreichte Punkte	Mögliche Punkte	Korrektor
1		30	
2		20	
3		15	
4		15	
5		20	
Σ		100	

Einige nützliche Konstanten

Dichte von Luft bei Normaldruck und $T = 20^\circ\text{C}$: $1,2 \text{ kg/m}^3$

Dichte von Wasser bei Normaldruck und $T = 20^\circ\text{C}$: 1000 kg/m^3

Viskosität von Wasser bei Normaldruck und $T = 20^\circ\text{C}$: $0,001 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 0,001 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$

Normaldruck: $1 \text{ atm} = 1013 \text{ mbar} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Avogadro-Konstante: $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Boltzmann-Konstante: $k_B = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

Gas-Konstante: $R = 8,314 \text{ J}/(\text{K} \cdot \text{mol})$

$1 \text{ cal (Kalorie)} \approx 4,2 \text{ J}$

Plancksches Wirkungsquantum (Planck-Konstante): $h \approx 6,63 \times 10^{-34} \text{ J s}$

Masse eines Elektrons: $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$

Atomare Masseneinheit: $u = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$

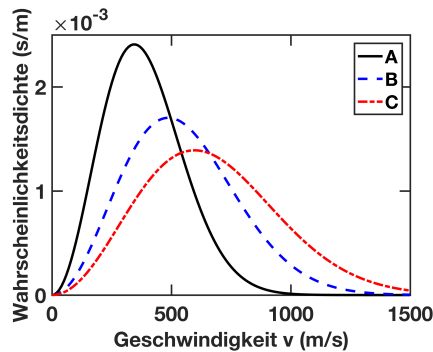
Elektronenvolt: $1 \text{ eV} \approx 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$

Name: _____

Aufgabe 1

Verständnisfragen (30 Punkte). Geben Sie kurze Antworten (1-2 Sätze, bzw. kurze Rechnung, bzw. einfache Skizze) auf die folgenden Fragen.

- a) **Maxwell-Boltzmann Verteilung.** Der Plot unten zeigt die Geschwindigkeitsverteilung der Moleküle eines Gases bei drei verschiedenen Temperaturen. Ordnen Sie die drei Kurven (A, B, C) von großen zu kleinen Temperaturen.



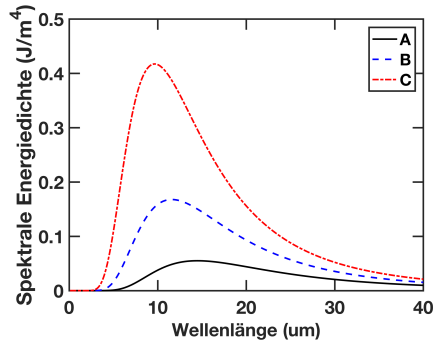
- b) **Wärmekapazität.** Einem monoatomaren, idealem Gas wird bei konstantem Volumen eine Wärmemenge $Q = 100 \text{ J}$ zugeführt, wodurch sich die Temperatur des Gases um $\Delta T = 5^\circ\text{C}$ erhöht. Welche Wärmemenge muss man dem Gas zuführen, um die gleiche Erwärmung um ΔT unter konstantem Druck zu erreichen?
- c) **Zustandssumme.** Was ist die Zustandssumme eines Teilchens mit zwei Energieniveaus E_1 und E_2 , die jeweils eine Multiplizität von 2 haben?
- d) **Wirkungsgrad.** Eine Wärmekraftmaschine nimmt in jedem Zyklus 150 J aus einem Reservoir mit 100°C auf und gibt 125 J an ein Reservoir mit 20°C ab. i) Wie hoch ist der Wirkungsgrad dieser Maschine? ii) Wie hoch ist der Wirkungsgrad im Verhältnis zum Carnot-Wirkungsgrad bei denselben Reservoiren?

Name: _____

- e) **Dampfdruckkurven.** Zeichnen Sie schematisch die Sättigungsdampfdruckkurven $p_{\text{Sätt}}(T)$ von i) Wasser und ii) Ethanol in ein Koordinatensystem als Funktion von T .
- f) **Längenänderung I.** Die erste Eisenbahnlinie in Deutschland war die (fast) gerade 6,0 km lange Eisenbahnstrecke von Nürnberg nach Fürth. Unter der Annahme, dass es sich um durchgehende Stahlschienen handelte, wie groß ist die Längenänderung der Schienen zwischen kaltem Winterwetter ($T = -10\text{ °C}$) und warmen Sommerwetter ($T = 30\text{ °C}$)? Der thermische Längenausdehnungskoeffizient von Stahl beträgt $\alpha = 17 \cdot 10^{-6} / \text{°C}$.
- g) **Längenänderung II.** Wenn wir davon ausgehen, dass die Schienen in der letzten Teilaufgaben bei warmen Sommerwetter spannungsfrei verlegt wurden und eine Querschnittsfläche von 20 cm^2 haben, wie groß sind die in der Schiene wirkende Kräfte bei kaltem Winterwetter?
Hinweis: Der Elastizitätsmodul von Stahl ist $E = 200\text{ GPa}$.
- h) **Nebelkammer.** Warum können in einem Nebelkammer-Teilchendetektor nach Wilson Neutronen nicht (oder nur indirekt) nachgewiesen werden?

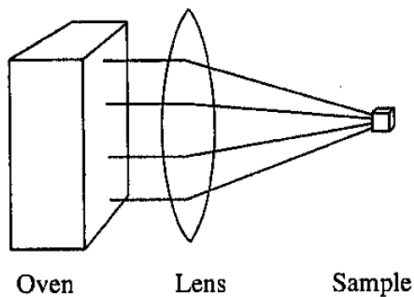
Name: _____

- i) **Planck-Spektrum***. Der Plot unten zeigt die spektrale Energiedichte bei drei verschiedenen Temperaturen. Ordnen Sie die drei Kurven (A, B, C) von großen zu kleinen Temperaturen.



- j) **Hitzeindex***. Im Wetterbericht wird zunehmend eine „gefühlte Temperatur“ (T_f) angegeben. Bei hohen Temperaturen steigt die gefühlte Temperatur T_f für gegebenes T mit der relativen Luftfeuchtigkeit ϕ (z.B.: Bei $T = 30^\circ\text{C}$ ist $T_f = 29^\circ\text{C}$ bei $\phi = 40\%$ und $T_f = 40^\circ\text{C}$ bei $\phi = 100\%$). Warum steigt T_f mit der relativen Luftfeuchte ϕ an?

- k) **Ofen***. Ein Kollege von Ihnen möchte eine kleine Probe („sample“) auf 900 K erwärmen. Leider hat er nur einen Ofen („oven“) zur Verfügung, der eine maximale Temperatur von 600 K erreicht. Daher plant er, eine große Linse („lens“) zu benutzen, um die Wärmestrahlung auf die Probe zu bündeln. Was halten Sie von diesem Plan?



Name: _____

Aufgabe 2

Einsteinmodell des Festkörpers. Einstein veröffentlichte 1907 ein Modell, dass die Wärmekapazität von Festkörpern über einen großen Temperaturbereich gut beschreibt.

a) Was sind die Annahmen/Modellvorstellungen des Einsteinmodells für die Wärmekapazität eines Festkörpers, der aus N Atomen besteht?

b) Die innere Energie des Festkörpers im Einsteinmodell ist

$$U \approx \frac{3Nk_B\Theta_E}{(e^{\Theta_E/T} - 1)}$$

wobei Θ_E die Einsteintemperatur ist. Für Diamant ist $\Theta_E \approx 1300$ K. Berechnen Sie die innere Energie für 1 mol Diamant bei $T = 100$ K und $T = 2000$ K.

c) Zeigen Sie, dass die innere Energie in der oben angegebenen Formel für $T \rightarrow 0$ exponentiell gegen Null geht.

Name: _____

Aufgabe 3

Van der Waals Gas. Wir betrachten 1 mol eines van der Waals Gases, das durch folgende Zustandsgleichung beschrieben wird

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$$

a) Was ist die physikalische Bedeutung der Parameter a und b ?

b) Jetzt betrachten wir eine isotherme Expansion des Gases von einem Volumen V_1 zu einem Volumen $V_2 (> V_1)$ bei einer Temperatur T_0 . Zeigen Sie, dass die vom Gas dabei verrichtete Arbeit (dies entspricht dem Negativen der am System verrichteten Arbeit) durch folgenden Ausdruck gegeben ist:

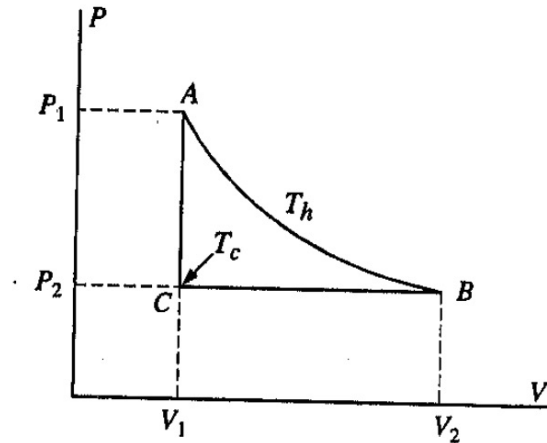
$$RT_0 \ln\left(\frac{V_2 - b}{V_1 - b}\right) + a\left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1}\right)$$

c) Für ein Gas mit $b \approx 0$ und $a > 0$, ist die vom Gas verrichtete Arbeit größer, kleiner oder gleich der Arbeit, die ein ideales Gas bei der gleichen Expansion verrichten würde?

Name: _____

Aufgabe 4

Arbeit im pV-Diagramm. 1,0 mol eines idealen Gases durchläuft den reversiblen Zyklus ABCA im unten gezeigten pV-Diagramm. Die Kurve AB ist eine Isotherme bei T_h („hot“). Der Punkt C befindet sich bei einer Temperatur T_c („cold“).



- Handelt es sich bei diesem Zyklus um eine Wärmekraftmaschine (die Arbeit leistet) oder um eine Kraftwärmemaschine (Wärmepumpe/Kältemaschine)? Warum (ohne Rechnung)?
- Berechnen Sie die Wärmeaufnahme des Gases während der isothermen Expansion AB (als Funktion der im Diagramm gegebenen Größen und etwaiger Naturkonstanten).
- Berechnen Sie die netto Wärmeaufnahme des Gases für den gesamten Zyklus ABCD. *Hinweise:* i) Verwenden Sie das Ergebnis aus der letzten Teilaufgabe. ii) Es kann sinnvoll sein, die Schritte BC und CA zusammen zu betrachten.

Name: _____

Aufgabe 5*

Eisschicht*. Auf der Wasseroberfläche eines Wassertanks hat sich bei kaltem Wetter (Lufttemperatur $T_L = -10\text{ °C}$) eine $h = 5\text{ cm}$ dicke Eisschicht gebildet, siehe Abbildung. Die Wärmeleitfähigkeit von Eis beträgt $\lambda = 2\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ und seine Dichte sei $0,92\text{ g}/\text{cm}^3$. Die Wände und der Boden des Tanks seien so gut isoliert, dass die Wärmeleitung durch sie zu vernachlässigen ist. Berechnen Sie die Zuwachsrate der Eisschicht in cm/h . Die spezifische Schmelzwärme von Wasser ist $\Lambda_{Sm} = 333,5\text{ kJ}/\text{kg}$.

