

Klausur Wärmelehre E2 und E2kompakt SoSe 2024 Braun

Name:

Matrikelnummer:

- E2
 E2kompakt (bitte ankreuzen)

Die mit Stern (*) gekennzeichneten Aufgaben sind für E2 vorgesehen - E2kompakt dürfen hier auch Punkte sammeln. Hilfsmittel: Taschenrechner. Maximale Punktzahl: 60 (45 für E2kompakt). Note 1.0 für etwa 2/3 der Punkte, Note 4.0 für etwa 1/3 der Punkte. Bearbeitungszeit: 1.5 Stunden.

Falls etwas unklar ist, fragen Sie die Tutoren, nicht den Nachbarn :-)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12*	13*	14*	Summe	Note
4	2	3.5	4	2.5	3	4	4	5	8	5	7*	2*	6*	45/60*	

Formelsammlung Thermodynamik

Thermodynamische Potentiale

$$dU = TdS - pdV + \mu dN$$

Enthalpie $H = U + pV$

Freie Energie $F = U - TS$

Freie Enthalpie $G = U + pV - TS$

Hauptsätze

1. $dU = \delta Q + \delta W$

2. $dS = \delta Q_{rev}/T$

Gleichverteilungssatz $\bar{E} = \frac{f}{2}kT$

Gasgesetz $pV = NkT$

Gas-Prozesse:

Isotherme: $\Delta U = 0$

Isochore: $\Delta W = 0$

Isobare: $\Delta W = -p(V_2 - V_1)$

Adiabate: $\Delta Q = 0$

$$pV^\gamma = \text{const} \quad \gamma = C_p/C_v$$

Entropie eines idealen Gases

$$S(U, V, N) = k \ln \Omega$$

$$= Nk[\ln(VU^{3/2}N^{-5/2}) + \text{const}]$$

Konstanten

Boltzmann Konstante $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$

Avogadro-Zahl $N_A = 6 \cdot 10^{23} \frac{\text{Teilchen}}{\text{mol}}$

Gaskonstante $R = 8.32 \frac{\text{J}}{\text{molK}}$

Umrechnungen

$$1 \text{ bar} = 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad 1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$$

Carnot-Wirkungsgrad $\eta = \frac{\Delta T}{T}$

Chemisches Potential von idealen Mischungen

Der Lösung:

$$\mu_0^{\text{Misch}}(p, T) = \mu_0^{(0)} - kT N_1/N_0$$

Der gelösten Moleküle:

$$\mu_1^{\text{Misch}}(p, T) = \mu_1^{(0)} + kT \ln(N_1/N_0)$$

Boltzmann-Verteilung

$$P \sim e^{-\frac{E}{kT}}$$

Gaskinetische Zusammenhänge

Mittlere freie Weglänge $\lambda = \left(\sigma \frac{N}{V}\right)^{-1}$

Wirkungsquerschnitt $\sigma = \pi d^2$

1. Milchkafee

a) Für die Zubereitung von Milchkafee sollen $m_M = 50\text{g}$ kalte Milch durch Einleitung von $T_{130}=130^\circ\text{C}$ heißem Wasserdampf von $T_5=5^\circ\text{C}$ auf $T_{40}=40^\circ\text{C}$ erhitzt werden. Wieviel Wasserdampf (Masse) wird dazu benötigt? (spezifische Wärmekapazitäten: Wasserdampf $c_D=1.850\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, Wasser $c_W=4.2\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, Milch $c_M=3.85\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; Verdampfungswärme von Wasser $q=2255\text{ kJ/kg}$).

4 Punkte

2. Radlpumpen für Physiker

Sie pumpen einen leeren Fahrradschlauch auf. Nehmen Sie sein Volumen als konstant an. Sie haben nach einer Minute Pumpen 3 bar Überdruck erreicht und pumpen mit der gleichen Frequenz weiter. Nach wievielen weiteren Minuten haben Sie 6 bar erreicht? Begründen Sie ihre Antwort. **2 Punkte**

3. Zustandsgrößen

- a) Nennen Sie drei intensive und drei extensive Zustandsgrößen. **1.5 Punkte**
- b) Leiten Sie aus der Fundamentalrelation $dU = TdS - pdV + \mu dN$ für die innere Energie $U(S, V, N)$ die Änderung der thermodynamischen Potentiale der Enthalpie $H(S, p, N)$, der freien Energie $F(T, V, N)$ und der freien Enthalpie $G(T, p, N)$ her. **2 Punkte**

4. Entropie

- a) Ein Prozess führt vom Zustand A zum Zustand B. Er wird einmal reversibel ($dS = \delta Q_{\text{rev}}/T$) und einmal irreversibel geführt ($dS \geq \delta Q/T$). Bedeutet dies nun, daß im irreversiblen Fall dS größer geworden ist, oder δQ kleiner? Warum? **2 Punkte**
- b) Wie groß ist die Entropieproduktion, wenn 10 kg Eis bei 0 °C vorliegen und auf 40 °C erwärmt werden? (Schmelzwärme $L_{\text{Eis}}=334 \text{ kJ/kg}$; $c_{\text{Wasser}}=4.2 \text{ kJ/(K*kg)}$) **2 Punkte**

5. *Thermometer*

Mit welchem Thermometer konnte man schon im 19. Jahrhundert den absoluten Nullpunkt der Temperatur bestimmen? Skizzieren Sie die Meßmethode graphisch. **2.5 Punkte**

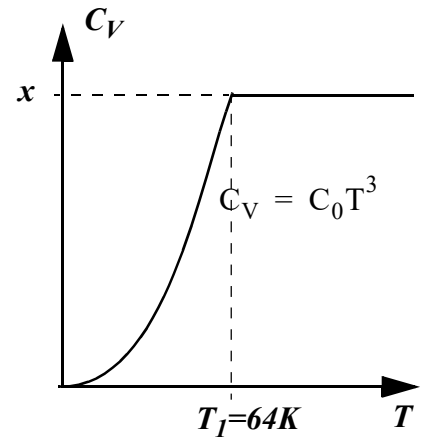
6. *Raumheizung für Akademiker*

Ein schlauer Professor behauptet, die innere Energie der Luft in seinem Haus steigt nicht an, wenn er es im Winter von 0°C auf 20°C erwärmt. Weshalb könnte er recht haben? Begründen Sie das Ergebnis quantitativ. (Sein Heizungshandwerker schüttelt darüber nur den Kopf) **3 Punkte**

7. Entropie eines Festkörpers

Nähern Sie die molare Wärmekapazität C_V eines Festkörpers durch den rechts skizzierten Verlauf an. Welchen Wert x für C_V erwarten Sie für das Plateau bei hohen Temperaturen? Nehmen Sie an, der Festkörper hat bei $T=0\text{K}$ eine absolute Entropie von $S = 0 \text{ J/K}$. Berechnen Sie für ein Mol des Materials die absolute Entropie bei $T = 100 \text{ K}$.

4 Punkte



8. Osmotischer Druck

Leiten Sie den Ausdruck für den osmotischen Druck mit Hilfe chemischer Potentiale her. Sie benötigen die Relation $G = \mu N$ und $\partial G / \partial p = V$ zur Lösung.

4 Punkte

9. Carnot-Maschine

Eine Carnot-Maschine arbeite zwischen zwei Wärmebädern der Temperatur 550°C und 30°C .

- a) Was ist der Wirkungsgrad der Maschine? **1 Punkt**
- b) Wenn die Maschine 3kJ an Energie erzeugt, wieviel Energie bekommt es vom heißeren Bad und wieviel gibt es an das kältere Bad ab? **1 Punkt**
- c) Wieviel Entropie gibt das wärmere Bad ab und wieviel nimmt das kalte Bad auf? **1 Punkt**
- d) Als Ingenieur wollen Sie den Wirkungsgrad maximieren und können die Temperatur eines der beiden Wärmebäder um 10K verändern. Was schlagen Sie weshalb vor? **2 Punkte**

10. Kreisprozesse

a) Leiten Sie ausgehend vom 1. Hauptsatz die am System geleistete Arbeit ΔW und die aufgenommene Wärme ΔQ her für eine Zustandsänderung eines idealen Gases im (i) isochoren ($V=\text{const.}$) und (ii) isobaren Fall ($p=\text{const.}$).

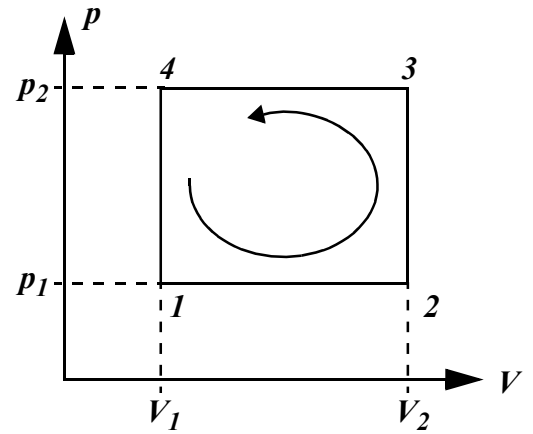
4 Punkte

b) Betrachten Sie nun den nebenstehenden isochor-isobaren Kreisprozess. Bei welchen der Teilprozesse von 1- \rightarrow 2, 2- \rightarrow 3, 3- \rightarrow 4 und 4- \rightarrow 1 wird Wärme aus der Umgebung aufgenommen?

2 Punkte

c) Gibt der Prozess bei der angegebenen Drehrichtung also Arbeit ab, oder nimmt er sie auf?

2 Punkte



11. Wärmepumpe für ein Einfamilienhaus

Sie heizen ihr Haus mit einer Wärmepumpe und wollen mit einer Solaranlage CO₂-neutral werden.

- a) Die Leistungszahl (COP) ε einer Wärmepumpe ist abgegebene Wärme durch eingesetzte elektrische Leistung. Leiten Sie die maximale ε aus dem Carnotprozess her und berechnen Sie diese für den Winter mit einer Reservoirtemperatur T_R und einer Heizungsvorlauftemperatur T_H für:
- Alte Heizkörper $T_H=50^\circ\text{C}$ mit einem Luftreservoir $T_R=-10^\circ\text{C}$
 - Fußbodenheizung $T_H=30^\circ\text{C}$ mit Grundwasserkopplung $T_R=10^\circ\text{C}$.
- b) Ein schlecht gedämmtes Einfamilienhaus braucht eine Heizwärme von $Q=18.000$ kWh im Jahr. Wir nehmen pessimistisch an, diese Wärmemenge muß in 4 Wintermonaten zugeführt werden und wir erzielen nur die halbe physikalisch mögliche Leistungszahl an ($\varepsilon_{\text{real}}=\varepsilon/2$). Eine Solaranlage erziele recht gleichmäßig über das Jahr summiert 180 kWh/m² elektrischen Strom. Berechnen Sie für beide Szenarien i) und ii) die Kantenlänge einer quadratischen Solaranlage, welche die reale Wärmepumpe in den 4 Wintermonaten elektrisch antreiben kann.
- c) Wieviele km können Sie mit dieser Solaranlage in beiden Szenarien in den restlichen 8 Monaten mit einem Elektroauto fahren, wenn dieses 16 kWh/100km verbraucht?

5 Punkte

(*) 12. Gasmischung

Zwei Volumina V_1 und V_2 eines einatomigen idealen Gases enthalten die gleiche Zahl N Atome bei gleichem Druck p_0 , befinden sich aber bei unterschiedlichen Temperaturen T_1 und T_2 . Nach Entfernen einer Trennwand zwischen beiden, vermischen sich die Gasatome.

- a) Berechnen Sie die Mischungstemperatur und den Enddruck **1 Punkt**
- b) Leiten Sie aus der Formelsammlung die Relation $S = kN[2.5 \ln T - \ln p + \text{const}]$ her. **3 Punkte**
- c) Berechnen Sie die Entropieänderung beim Mischen. **3 Punkte**

(*) 13. Mittlere freie Weglänge

- a) Leiten Sie geometrisch mit einer Skizze her, weshalb die Proportionalitäten für die mittlere freie Weglänge λ von Molekülen mit einem Durchmesser d gegeben ist durch die Formel $\lambda = ((N/V)\pi d^2)^{-1}$. **2 Punkte**

(*14. Dampfdruckerniedrigung

- a) Beim Dampfdruck ist eine Flüssigkeit im Gleichgewicht mit seinem Dampf. Nun werden in der Flüssigkeit Teilchen gelöst. Begründen Sie anschaulich, warum sich der Dampfdruck erniedrigt. **(2 Punkt)**
- b) Für das chemische Potential der Lösung hatten wir hergeleitet $\mu_0^{\text{Misch}} = \mu_0 - kT(N_1/N_0)$ mit N_0 der Zahl der Flüssigkeitsteilchen und N_1 der gelösten Teilchen. Für die gelösten Teilchen gilt $\mu_1^{\text{Misch}} = \mu_1 + kT \ln N_1/N_0$. Welche chemischen Potentiale stehen bei der in (a) beschriebenen Situation im Gleichgewicht? **(1 Punkt)**
- c) Halten Sie nun die Temperatur T konstant und entwickeln Sie die Gleichgewichtsrelation linear um den Gleichgewichtsdruck p . Leiten Sie mit den Relationen $G = \mu N$, $dG = SdT + Vdp + \mu dN$, $pV = NkT$ und einer Näherung eine Relation zwischen der Änderung des Dampfdrucks und der Zahl der gelösten Partikel N_1 her. **(3 Punkte)**