

Klausur Thermodynamik E2/E2p SoSe 2019 Braun

Name:

Matrikelnummer:

- E2
 E2p (bitte ankreuzen)

Die mit Stern (*) gekennzeichneten Aufgaben sind für E2-Kandidaten vorgesehen - E2p-Kandidaten dürfen diese auch lösen. Hilfsmittel: Taschenrechner. Maximale Punktzahl: 60 (45 für E2p). Note 1.0 für etwa 2/3 der Punkte, Note 4.0 für etwa 1/3 der Punkte. Bearbeitungszeit: 1.5 Stunden.

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

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12*	13*	14*	15*	Summe	Note
2	3	5	4	3	2	6	6	4	6	4	4*	3*	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. $dS = \delta Q_{\text{rev}}/T$

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:

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

Der gelösten Moleküle:

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

Boltzmann-Verteilung

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

Gaskinetische Zusammenhänge

Mittlere freie Weglänge $\lambda = (\sigma n)^{-1}$

Wirkungsquerschnitt $\sigma = \pi d^2$

1. Prozesse

Nennen Sie einen adiabatischen, einen reversiblen und zwei irreversible Prozesse.

(2 Punkte)

2. Absoluter Nullpunkt

Mit welchem Thermometer konnte man schon im 19. Jahrhundert die Lage des absoluten Temperaturnullpunkts abschätzen? Wie lief die Messung ab?

(3 Punkte)

3. Zustandsgrößen

- a) Nennen Sie drei intensive und drei extensive Zustandsgrößen. **(3 Punkte)**
- b) Leiten Sie aus der Fundamentalrelation für die innere Energie $U(S,V,N)$ die Differentiale der thermodynamischen Potentiale für die Enthalpie $dH(S,p,N)$ und die freie Energie $dF(T,V,N)$ her. **(2 Punkte)**

4. Dieselmotor

In einem Dieselmotor wird die Luft ausgehend von $T=30^\circ\text{C}$ adiabatisch auf $1/25$ ihres Volumens komprimiert. Nehmen Sie für die Gasmischung einen Adiabatenkoeffizienten von $\gamma = 1.4$ an.

- a) Um welchen Faktor ändert sich dabei der Luftdruck? **(2 Punkte)**
- b) Auf welche Temperatur erhitzt sich die Gasmischung dabei? **(2 Punkte)**

5. Entropie

Ein Prozess wird einmal reversibel und einmal irreversibel von Zustand A zu Zustand B geführt. Er nimmt dabei die Wärme $\Delta Q_{\text{rev.}}$ oder $\Delta Q_{\text{irrev.}}$ auf. Sie wollen jeweils auf die Entropieänderung ΔS schließen. Welche Gleichung gilt im reversiblen und welche Ungleichung im irreversiblen Fall? Ist ΔS in beiden Fällen gleich hoch? **(3 Punkte)**

6. Wärmefluß und der zweite Hauptsatz.

Begründen Sie quantitativ mit dem zweiten Hauptsatz, warum Wärme nur spontan von warm nach kalt fließt. **(2 Punkte)**

7. *Kompression eines ideales Gases*

Eine feste Zahl von Gasmolekülen wird auf ein Drittel ihres Volumens komprimiert ($V = V_0/3$) und danach durch weiteres Aufheizen seine Temperatur um den Faktor 5 erhöht ($T=5T_0$). Um welche Faktoren erhöhen sich am Ende des Prozesses folgende Größen?

- a) der Druck **(2 Punkte)**
- b) die Wurzel aus dem mittleren Geschwindigkeitsquadrat eines Moleküls **(2 Punkte)**
- c) die Häufigkeit der Molekül-Aufschläge auf ein Flächenelement **(2 Punkte)**

8. Carnot-Prozess

Die Carnot Wärmemaschine kann man am einfachsten in einem S-T-Diagramm beschreiben zwischen der Temperatur T_1 und T_2 und der Entropie S_1 und S_2 des Arbeitsgases.

a) Zeichnen die vier Teilprozesse in das S-T-Diagramm und benennen Sie diese.

Notieren Sie die Drehrichtung.

(2 Punkte)

b) Bilanzieren Sie die aufgenommene Arbeit und die bestimmen Sie aus dem Wärmefluß die Entropiebilanz. Leiten Sie damit eine Beziehung für den Wirkungsgrad der Wärmemaschine $\eta = \text{Arbeit}/\text{Wärmeaufnahme}$ her.

(3 Punkte)

c) Zeigen Sie, warum trotz des Wärmeflusses zwischen den beiden Temperaturbädern keine Änderung der Entropie eingetreten ist.

(1 Punkt)

9. *Milchkaffee*

Für die Zubereitung von Milchschaum sollen $m_M = 100\text{g}$ kalte Milch durch Einleiten von $T_{120}=120^\circ\text{C}$ heißem Wasserdampf von $T_5=5^\circ\text{C}$ auf $T_{50}=50^\circ\text{C}$ erhitzt werden. Wieviel Masse des Wasserdampfs 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 $q=2255\text{ kJ/kg}$). Wird die Milch durch die Verdampfungswärme aufgewärmt oder abgekühlt? **(4 Punkte)**

10. Drosselprozess

- a) Beschreiben und skizzieren Sie den Joule-Thompson-Prozess.
- b) Leiten Sie her, warum die Enthalpie bei dem Prozess konstant bleibt.
- c) Berechnen Sie, warum sich die Temperatur eines idealen Gases dabei nicht ändert.

(2 Punkte)

(2 Punkte)

(2 Punkte)

11. Entropieanstieg

Sie mischen 3 Liter von 70°C warmem Wasser mit 1.5 Liter Wasser der Temperatur von 10°C. Die Wärmekapazität von Wasser ist $c_p=4.2\text{kJ}/(\text{K}\cdot\text{Liter})$. Um wieviel steigt die Gesamtentropie an? Integrieren Sie hierzu über den Mischprozess mit dem zweiten Hauptsatz. **(4 Punkte)**

12. Mischen von Gasen (*)

In eine adiabatische Mischkammer strömen pro Sekunde 2mol Helium mit der Temperatur 400K und dem Druck 1bar und 1mol Propan mit der Temperatur 300K und dem Druck 1bar. Das ausströmende Gemisch hat einen Druck von 1bar. Helium und Propan sollen als ideale Gase betrachtet werden. Die Rotationsfreiheitsgrade von Propan sollen voll angeregt sein. Von den Schwingungsfreiheitsgraden sollen im Mittel vier angeregt sein.

- a. Wie groß ist die Temperatur des Gemisches? **(2 Punkte)**
- b. Wie viel Entropie wird pro Sekunde bei dem Vermischungsvorgang erzeugt? **(2 Punkte)**

13. Kinetische Gastheorie (*)

Nehmen Sie ein ideales Gas der Temperatur 50°C , einem Druck von 2 bar, einem Moleküldurchmesser von $d=0.3\text{nm}$ und einer Molmasse von 32g/mol (Sauerstoff O_2)

a) Berechnen Sie die mittlere freie Weglänge

(1 Punkt)

b) Mit welcher Frequenz treffen sich die Moleküle im Mittel?

(2 Punkte)

14. Leaving group (*)

Wir betrachten zwei unterschiedlichen Reaktionen in Wasser, bei der die gleiche inneren Bindungsenergie frei wird. Im ersten Fall entstehen aus zwei Molekülen deren drei, im zweiten Fall bleibt die Zahl der Moleküle bei der Reaktion konstant. Argumentieren Sie, warum im ersten Fall eine höhere Gibbs'sche freie Enthalpie freigesetzt wird.

(2 Punkte)

15. 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 durch die gelösten Teilchen erniedrigt. **(1 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 dieser beiden 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 linearen Näherung eine Relation zwischen der Änderung des Dampfdrucks und der Zahl der gelösten Partikel N_1 her. **(4 Punkte)**