

Nachholklausur E2 + E2p Thermodynamik + Elektrodynamik

Name:

Matrikelnummer:

Schein für

E2 E2p (ankreuzen, Notenausgabe für beides möglich)

Bitte Vornamen und Namen auf jedes Blatt schreiben.

Die Klausur besteht aus zwei Aufgabenblättern und zwei Formelblättern.

Aufgaben mit (*) sind für E2-Kandidaten vorgesehen, sie dürfen auch von E2p-Kandidaten bearbeitet werden.

Hilfsmittel: Taschenrechner, KEINE zusätzliche Formelsammlung !

Bearbeitungszeit: 1.5 Stunden. Maximale Punktzahl: 60 für E2 (45 für E2p)

1	2	3	4	5	6 *	7	8	9	10	11	12 *	13 *	Σ	Bonus	E2	E2p
2	8	5	4	6	6 *	3	3	8	3	3	6 *	3 *	60* (45)			

I. THERMODYNAMIK

1. Gleichverteilungssatz

- Formulieren Sie möglichst genau den Gleichverteilungs/Äquipartitions-Satz. (1 Punkt)
- Weshalb beträgt die mittlere Energie einer eindimensionalen Schwingung kT ? (1 Punkt)

2. Zustandsgrößen

- Nennen Sie drei intensive und drei extensive Zustandsgrößen. (3 Punkte)
- Leiten Sie aus der Fundamentalrelation $dU = TdS - pdV + \mu dN$ für die innere Energie $U(S,V,N)$ die thermodynamischen Differentialrelationen der Enthalpie $H(S,p,N)$, der freien Energie $F(T,V,N)$ und der freien Enthalpie $G(T,p,N)$ her. (3 Punkte)
- Benutzen Sie die Fundamentalrelation $dU = TdS - pdV + \mu dN$ um (i) eine Relation zwischen Innerer Energie und Entropie bei konstantem Volumen und Teilchenzahl herzuleiten und (ii) eine Relation zwischen Entropie und Druck bei konstanter inneren Energie und Teilchenzahl herzuleiten. Die Entropie des idealen Gases ist gegeben durch

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

mit Teilchenzahl N , Boltzmannkonstante k , Volumen V und innerer Energie U . Wenden Sie die beiden obigen Relationen (i) und (ii) an und benennen Sie die sich ergebende Relationen. (2 Punkte)

3. Entropie

- Ein Prozess führt vom Zustand A zum Zustand B. Er wird einmal reversibel und einmal irreversibel geführt. Sie wissen aus dem zweiten Hauptsatz: $dS \geq \delta Q/T$ und $dS = \delta Q_{\text{rev}}/T$. Bedeutet dies nun, daß dS im irreversiblen Fall stärker ansteigt oder daß δQ kleiner ist? Begründen Sie ihre Antwort! (2 Punkte)
- Wie groß ist die Entropieproduktion, wenn 100 kg Eis bei 0°C vorliegen und diese auf 60°C erwärmt werden? (Schmelzwärme $L_{\text{Eis}}=334 \text{ kJ/kg}$; $c_{\text{Wasser}}=4.2 \text{ kJ/(K*kg)}$) ? (3 Punkte)

4. Kreisprozesse und Hauptsätze

a) Eine Klimaanlage benötigt 3 kW elektrische Leistung, um einem Raum, der auf 22°C gehalten wird, einen Wärmestrom von 4 kW zu entziehen und der Außenluft von 37°C zuzuführen. Um welchen Faktor ist der Wirkungsgrad schlechter im Vergleich zu einer idealen Kältemaschine? (3 Punkte)

b) Bei der Beschreibung eines idealen Gummis wird der Term $p dV$ im ersten Hauptsatz durch $F dl$ mit Kraft F und Längenänderung dl ersetzt. Mit welchem Vorzeichen tritt dieser Term bei der Anwendung des ersten Hauptsatzes auf und warum? (1 Punkt)

5. Dampfdruckerniedrigung

a) Beim Dampfdruck ist eine Flüssigkeit im Gleichgewicht mit seinem Dampf. Nun werden in der Flüssigkeit Teilchen gelöst. Erklären Sie anschaulich, warum sich der Dampfdruck 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 chemischen Potentiale stehen bei der in (a) beschriebenen Situation im Gleichgewicht? (1 Punkte)

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. (4 Punkte)

6. Knudsen Effekt (*)

a) Wenn zwei Gase unterschiedlicher Temperatur ohne Wechselwirkung ineinander diffundieren können, mißt man einen Druck proportional zur Wurzel der Temperatur: $p_1/p_2 = \sqrt{T_1/T_2}$. Welche Asymmetrien tragen zu dem Druckanstieg bei? (2 Punkte)

b) Setzen Sie die Partikelflüsse gleich und leiten Sie obige Relation her. Alle nötigen Formeln finden Sie in der Kurz-Formelsammlung. (4 Punkte)

II. ELEKTRODYNAMIK

7. Feld eines geladenen Drahtes

Berechnen Sie das elektrische Feld eines unendlich langen, homogen geladenen Drahtes. (3 Punkte)

8. Hallspannung

Leiten Sie einen Ausdruck für die Hallspannung her, mit der man auf die Ladungsträgerdichte schließen kann. (3 Punkte)

9. Felder und Metalle

a) Was ist der Grund für die hohen elektrischen Felder an Metallspitzen? (2 Punkte)

b) Modellieren Sie die Metallspitze durch die Feldverteilung zwischen zwei unterschiedlich großer Kugeln, die leitend verbunden sind. Zeigen Sie, daß die elektrische Feldstärke umgekehrt proportional zum Kugelradius ist. (3 Punkte)

c) Weshalb ist das Innere eines Faraday'schen Käfigs feldfrei? (3 Punkte)

10. Erdmagnetfeld

Eine Spule mit 1000 Windungen, deren Fläche (100cm²) senkrecht zum Erdmagnetfeld steht, wird in einer Sekunde um 90° gedreht. Die mittlere während dieser Zeit erzeugte Elektromotorische Kraft in der Spule beträgt 0.6 mV. Welche Feldstärke hat das Erdmagnetfeld? (3 Punkte)

11. Ladungen

Das Coulombgesetz im Gauß-System (cgs-System: cm, gramm, sekunde) ist gegeben durch $F = q_1 q_2 / r^2$, also ohne die Einheiten des Terms $(4\pi\epsilon_0)^{-1}$. Was ist die Einheit einer Ladung im cgs-System? (3 Punkte)

12. Wellenausbreitung (*)

a) Skizzieren Sie die Verteilung von E und B Feld einer ebenen Welle für die beiden Polarisierungen. (2 Punkte)

b) Welche Terme der Maxwellgleichungen sind dafür verantwortlich, daß es eine sich frei ausbreitende Welle im Vakuum gibt? Benutzen Sie die Terme, um in der in (a) angegebenen Feldgeometrie die geometrische Relation zwischen E und B -Feld zu begründen. (3 Punkte)

c) Wie erzeugt man am einfachsten eine stehende Lichtwelle? (1 Punkte)

13. Relativistik (*)

Illustrieren Sie mit einer Skizze, wie das magnetische Feld auch als relativistische Erweiterung des Coulombgesetzes aufgefaßt werden kann. (3 Punkte)

Formelsammlung Elektrodynamik

Elektrische Felder

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi \quad \vec{F} = q\vec{E}$$

Sprungbedingung $\Delta E_{\perp} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

Mit Materie: $\epsilon_1 E_{1\perp} - \epsilon_2 E_{2\perp} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

Coulomb $|\vec{E}| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$

Plattenkond. (Vakuum) $E = \frac{Q}{\epsilon_0 A} \quad C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$

Dipol $\vec{p} = q\vec{d} \quad W = -\vec{p}\vec{E}$

Drehmoment $\vec{M} = \vec{p} \times \vec{E}$

Magnetfelder

$$\vec{B} = \text{rot}\vec{A} \quad \frac{\vec{F}}{L} = \vec{l} \times \vec{B} \quad \vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Sprungbedingung $\Delta B_{||} = \mu_0 \frac{N}{L} I$

Mit Materie: $\frac{B_{1||}}{\mu_1} - \frac{B_{2||}}{\mu_2} = \mu_0 \frac{N}{L} I$

Biot-Savart $d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$

Ampère-Gesetz $\vec{B} = \frac{\mu_0 \vec{l} \times \vec{r}}{2\pi r^2}$

Lange Spule (Vakuum) $B = \mu_0 \frac{N}{l} I \quad L = \mu_0 \frac{N^2}{l} A$

Dipol $\vec{m} = I \vec{A} \quad W = -\vec{m}\vec{B}$

Drehmoment $\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}$

Kondensator	U = Q/C	Z = (i ωC) ⁻¹	Energie: W = CU ² /2	Kirchhoff
Widerstand	U = RI	Z = R	Energie: W = UQ	∑ I = 0 an Knoten
Induktivität	U = -LI'	Z = i ωL	Energie: W = LI ² /2	∑ U = 0 in Masche

Maxwell-Gesetze

1. $\text{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	$\oint \vec{E} d\vec{A} = \iiint \frac{\rho}{\epsilon_0} dV$	Linke Seite in Materie: $\oint (\vec{E} + \vec{P}/\epsilon_0) d\vec{A} \quad \vec{P} = \frac{N}{V} \vec{p}$
2. $\text{div} \vec{B} = 0$	$\oint \vec{B} d\vec{A} = 0$	
3. $\text{rot} \vec{E} = -\dot{\vec{B}}$	$\oint \vec{E} d\vec{s} = -\iint \dot{\vec{B}} d\vec{A}$ (ruhender Leiter)	$U = -\frac{d}{dt} \iint \vec{B} d\vec{A}$ (Induktionsgesetz)
4. $\text{rot} \vec{B} = \mu_0 (\vec{j} + \epsilon_0 \dot{\vec{E}})$	$\oint \vec{B} d\vec{s} = \mu_0 I$ $\oint \vec{B} d\vec{s} = \iint \mu_0 (\vec{j} + \epsilon_0 \dot{\vec{E}}) d\vec{A}$	Linke Seite in Materie: $\oint (\vec{B} - \mu_0 \vec{M}) d\vec{s} \quad \vec{M} = \frac{N}{V} \vec{m}$

Energiedichte $\frac{W}{V} = \frac{\epsilon_0 E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu_0}$ Poynting $\vec{S} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{\mu_0}$

Elektrische Feldkonstante $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{AS}{Vm}$

Magnetische Feldkonstante $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$

Planck'sches Wirkungsquantum $h = 6.63 \cdot 10^{-34} \frac{kgm^2}{s}$

Elementarladung $e_0 = 1.6 \cdot 10^{-19} C$

Elektronenmasse $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} kg$

Kurz-Formelsammlung Thermodynamik für Nachholklausur

Thermodynamische Potentiale

Enthalpie $H = U + pV$

Freie Energie $F = U - TS$

Freie Enthalpie $G = U + pV - TS$

Konstanten

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

Avogadro-Zahl $N_A = 6 \cdot 10^{23}$

Gaskonstante $R = 8.32 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}$

Hauptsätze

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

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

Umrechnungen

$1 \text{ bar} = 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$

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

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

Gasgesetz $pV = NkT$