

Klausur Elektrodynamik E2/E2kompakt SoSe 2024 Braun

Nachname, Vorname:

Matrikelnummer:

- E2
 E2kompakt (bitte ankreuzen)

Die mit Stern (*) gekennzeichneten Aufgaben sind für E2, aber E2kompakt-Studenten dürfen hier auch Punkte sammeln. Erlaubtes Hilfsmittel: einfacher Taschenrechner.

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	16*	17*	Summe	Note
3	3	3	5	4	3	5*	4*	2	3	4	3	3	6	3	3*	3*	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 $pV = NkT$

a-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

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

$$= Nk[\ln(VU^{3/2}N^{-5/2}) + \text{const}1]$$

Konstanten

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

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

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

Umrechnungen

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

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

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

Gaskinetische Zusammenhänge

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

Wirkungsquerschnitt $\sigma = \pi d^2$

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

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

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

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

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

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

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

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 = (iwC) ⁻¹	Energie: W = CU ² /2	Kirchhoff
Widerstand	U = RI	Z = R	Energie: W = UQ	$\sum I = 0$ an Knoten
Induktivität	U = -Lİ	Z = iwL	Energie: W = LI ² /2	$\sum U = 0$ in Masche

Maxwell-Gesetze

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

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

Thermodynamik

1. Freiheitsgrade

- a) Für ein reales Gas wurde ein Adiabatenexponent von $\gamma = 1.40$ gemessen.
Geben Sie die Zahl der Freiheitsgrade f an.
- b) Leiten Sie her, wie die Enthalpie H von der Zahl der Freiheitsgraden f bei einem idealen Gas abhängt.

1 Punkt

2 Punkte

2. Trockeneis (=> Lösung auf Rückseite)

- a) Was ist Trockeneis?
- b) Weshalb kann man Trockeneis trotz der kalten Temperatur (-78.5°C) für eine kurze Zeit verletzungsfrei in der Hand halten?

1 Punkt

2 Punkte

3. Wärmespeicher mit Phasenübergang?

Natriumacetat-Trihydrat durchläuft einen Phasenübergang von fest zu flüssig bei 58°C mit einer latenten Wärme von 226kJ/kg . Wieviel mehr Wärmemenge pro kg können Sie damit im Temperaturfenster $50\text{-}60^{\circ}\text{C}$ im Vergleich zu Wasser speichern? Die Wärmekapazität von Wasser ist $4.2\text{kJ}/(\text{K}\cdot\text{kg})$, die für Natriumacetat-Trihydrat in der kristallinen Phase $4.88\text{kJ}/(\text{K}\cdot\text{kg})$, in der flüssigen Phase $2.57\text{kJ}/(\text{K}\cdot\text{kg})$.

3 Punkte

4. Thermische Schwebbahn? (=> Lösung auf Rückseite)

Aufgrund der Boltzmannverteilung im Gravitationsfeld der Erde schweben Massenpunkte im thermischen Gleichgewicht, zu sehen z.B. an den Molekülen unserer Atmosphäre.

- a) Auf welcher mittleren Höhe h schwebt eine Masse m , wenn Sie als Maß der mittleren Höhe den Abfall der Boltzmannverteilung auf $1/e$ des maximalen Wertes abschätzen? **3 Punkte**
- b) Ganz schlaue Leute meinen, mit dem Effekt eine Schwebbahn bauen zu können. Rechnen Sie die Schwebhöhe eines Menschen der Masse $m=75\text{kg}$ aus. Warum wird so eine Schwebbahn nicht funktionieren? **2 Punkte**

5. Herleitung ideales Gasgesetz

- a) Beschreiben Sie die zwei Experimente, in denen die Relationen $p = \text{const}_1 \cdot T$ und $V = \text{const}_2 \cdot T$ dazu benutzt wurden, um jeweils den absoluten Nullpunkt zu bestimmen.
- b) Leiten Sie aus den obigen beiden Relationen das ideale Gasgesetz $pV = \text{const}_3 \cdot T$ her.

2 Punkte

2 Punkte

6. Equilibrierung (\Rightarrow Lösung auf Rückseite)

Erklären Sie, weshalb abgeschlossene Systeme, welche Energie auf mehrere Teilchen aufteilen können mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit einen Gleichgewichtszustand der Energie annehmen? Illustrieren Sie die Logik mit der Aufteilung von $q=6$ Energiequanten auf zwei Systeme mit je $N=3$ Einheiten. Die Möglichkeiten, q Energiequanten auf N Einheiten aufzuteilen sind $\Omega = (q + N - 1)! / (q!(N - 1)!)$, also $\Omega(q=0..6) = \{1, 3, 6, 10, 15, 21, 28\}$.

3 Punkte

(*)7. Maxwell-Verteilung und Transport

- a) Geben Sie graphisch die Maxwell-Verteilung der Molekülgeschwindigkeit im idealen dreidimensionalen Gas an. Skizzieren Sie die Verteilung, wenn Sie die Temperatur vervierfachen. Um welchen Faktor verschiebt sich das Maximum der Verteilung? Begründen Sie! **2 Punkte**
- b) Leiten Sie mit einer geometrischen Skizze einen Zusammenhang her zwischen dem Wirkungsquerschnitt σ , der mittleren freien Weglänge λ und der Teilchendichte $n = N/V$. **3 Punkte**

(*)8. Carnot-Wirkungsgrad (=> Lösung auf Rückseite)

Leiten Sie den Wirkungsgrad einer Carnotmaschine daraus her, dass die Wärmeleitung zwischen zwei Bädern der Temperature T_1 und T_2 durch die Carnotmaschine reversibel durchgeführt wird. **4 Punkte**

Elektrodynamik

9. Maxwell differentiell

Notieren Sie Maxwellgleichungen in Integralform - die Formelsammlung zeigt sie in Differentialform.

2 Punkte

10. Zusammenhang Ladungsdichte und E-Feld

Leiten Sie mit dem Gauß-Gesetz für einen Plattenkondensator her, wie aus der Ladungsdichte des Kondensators auf das E-Feld im Kondensator geschlossen werden kann. Wie hängt das E-Feld vom Abstand der Platten ab?

3 Punkte

11. Maxwell Gleichungen und ebene Welle (=> Lösung auf Rückseite)

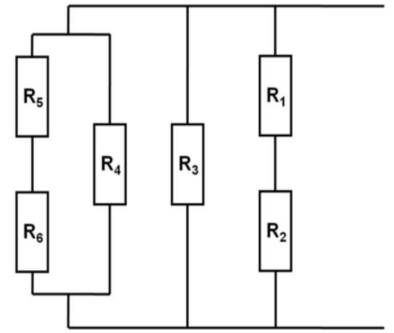
Leiten Sie aus den Maxwellgleichungen in Differenzialform die Wellengleichung her. Zeigen Sie, dass sie von einer ebenen elektromagnetischen Welle erfüllt wird.

4 Punkte

12. Widerstand

Rechnen Sie den Gesamtwiderstand der rechts abgebildeten Schaltung aus.

3 Punkte



13. Induktion (=> Lösung auf Rückseite)

Ein Flugzeug fliegt mit 900 km/h nach Norden. Die vertikale Komponente des Erdmagnetfeldes betrage 0.7 Gauß = 0.7×10^{-4} Tesla und sei nach unten gerichtet. Welche Größe und Orientierung der elektrischen Feldstärke mißt der Pilot zwischen den Flügelspitzen (außerhalb des Faraday-Käfigs)?

3 Punkte

14. Millikan-Versuch

a) Beschreiben Sie, wie Robert Millikan mit Öltröpfen die Elementarladung gemessen hat. **3 Punkte**

b) Leiten Sie den Ausdruck für die Ladung von den gemessenen Parametern her. **3 Punkte**

15. Potentiale (=> Lösung auf Rückseite)

Beweisen Sie, daß ein Gradientenfeld (z.B. $E = -\text{grad}\varphi$) wirbelfrei ist, d.h. der elektrostatischen Bedingung der Maxwellgleichung für E folgt. **3 Punkte**

(*) 16. LR-Schaltung

Ein Widerstand $R=50\Omega$ und eine Spule mit $L=270\text{mH}$ seien in Reihe geschaltet. Zum Zeitpunkt $t=0\text{s}$ wird eine schon alte 9V Batterie (Innenwiderstand $R_i=10\Omega$) an die Schaltung angeschlossen. Berechnen Sie den Stromverlauf über die Zeit. **3 Punkte**

(*) 17. Wechselstromkreis. (=> Lösung auf Rückseite)

Berechnen Sie für die angegebenen Beispiele die Transferfunktion (Verhältnis der Ausgangsspannung zur Eingangsspannung) als Funktion der Frequenz. Begründen Sie, welche der beiden Schaltungen ein Hochpaß und welche ein Tiefpaß ist.

3 Punkte

