

Nachholklausur Thermodynamik/Elektrodynamik E2/E2p, SoSe 2020 Braun

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

Wenn etwas unklar ist, fragen Sie den Tutor im Zoom-Chat, nicht Telegram oder Whatsapp!

Thermodynamik

1. Milchkaffee

- a) Für die Zubereitung von Milchkaffee sollen $m_M = 100\text{g}$ kalte Milch durch Einleitung 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 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 P.**

2. Metabolismus beim Bergsteigen

- a) Ein Bergsteiger von 90kg Masse steigt 1500m hoch. Wieviel Tafeln Schokolade muß er essen, wenn der Wirkungsgrad der Energieumwandlung von der Schokolade bis in den Muskel 25% beträgt? Eine Schokolade hat den Energieinhalt von $2,2\text{MJ}$. **2 P.**
- b) Um wieviel erhöht sich seine Körpertemperatur, wenn die restliche, dissipierte Energie seinen Körper aufheizen würde [$C_{\text{Bergsteiger}}=C_{\text{Wasser}}$]. Überlebt dies ein thermisch isolierter Bergsteiger? **1 P.**
- c) Wieviel Liter Wasser muss der Bergsteiger trinken, wenn er die dissipierte Energie vollständig durch das Verdampfen von Schweiß abführt? Die Verdampfungswärme von Wasser betrage 2.44kJ/kg . **1 P.**

3. Der zweite Hauptsatz.

Was sagt der 2. Hauptsatz der Thermodynamik aus?

3 P.

4. Plasma

In einem Plasma haben die meisten Atome keine Elektronenhülle mehr. Für Wasserstoff ist die Ionisationsenergie 13.6 eV . Wie hoch müssen Sie in erster Näherung das Plasma aufheizen, damit 70% der Protonen keine gebundenen Elektronen mehr besitzen? ($1\text{eV} = 1.6\times 10^{-19}\text{ J}$) **3 P.**

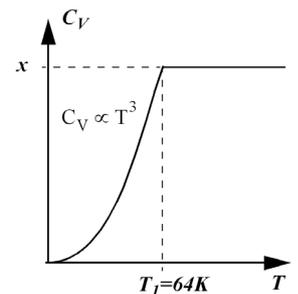
5. Fahrradreifen aufpumpen für Physiker

Sie pumpen einen leeren Fahrradschlauch auf. Nehmen Sie sein Volumen als konstant an. Schätzen Sie wenn nötig die Geometrie des Reifens und der Fahrradpumpe ab. Sie haben nach einer Minute Pumpen 3 bar erreicht und pumpen mit der gleichen Frequenz weiter. Nach wievielen weiteren Minuten haben Sie 6 bar erreicht? Begründen Sie ihre Antwort. **2 P.**

6. Entropie eines Festkörpers

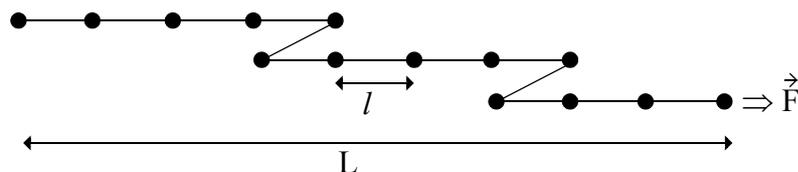
Nähern Sie die molare Wärmekapazität C_V eines Festkörpers durch den rechts skizzierten Verlauf an.

- a) Welchen Wert x für C_V erwarten Sie bei hohen Temperaturen? **1 P.**
- b) 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 $T = 120\text{ K}$. **3 P.**



7. Polymerkette (*)

Betrachten Sie das Modell einer Polymerkette, wie hier skizziert:



Es besteht aus N Monomeren der Länge l , wovon N_R nach rechts gerichtet sind und N_L nach links. N_R und N_L können alle erlaubten Werte annehmen. Die thermische Bewegung begünstigt ein Verknäueln des Polymers. Die Kraft \vec{F} wirkt dem entgegen.

- a) Durch Kombinatorik kann man berechnen, daß die Zustandszahl Ω gegeben ist durch

$\Omega = N!/(N_R!N_L!)$. Überprüfen Sie die Formel, indem Sie für $N=4$ und der Polymerlänge $L=2l$ alle möglichen Mikrozustände des Polymers abzählen und mit der Formel vergleichen. **2 P.**

- b) Berechnen Sie die Entropie der Polymerkette mit der Stirling-Näherung $N! \approx N^N$ für $N \gg 1$. **1 P.**
- c) Berechnen Sie weiterhin die Gesamtlänge L als Funktion von l , N und N_R . **1 P.**
- d) Formulieren Sie den ersten Hauptsatz als Funktion der Kraft \vec{F} und der Längenänderung ΔL . **2 P.**
- e) Berechnen Sie die Kraft \vec{F} , welche das Polymer bei konstanter Länge L aufbringen kann als Funktion der Parameter L, T, N und l . Einfacher geht es, wenn Sie die Ableitung wie folgt aufteilen:

$$\frac{\partial \ln \Omega}{\partial L} = \frac{\partial \ln \Omega}{\partial N_R} \cdot \frac{\partial N_R}{\partial L} \quad \mathbf{4 P.}$$

Elektrodynamik

8. Grundlegendes

- a) Was versteht man unter Feldlinien? Welche Ausrichtung haben sie? **1 P.**
- b) Was bedeutet: "Die Ladung ist relativistisch invariant"? **1 P.**

9. Millikan-Versuch

- a) Beschreiben Sie, wie Robert Millikan mit Öltröpfchen die Elementarladung gemessen hat.
- b) Leiten Sie einen Ausdruck der Ladung in Abhängigkeit von den experimentellen Daten her. **4 P.**

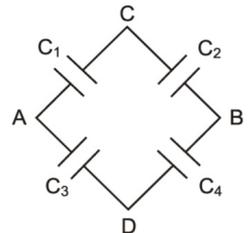
10. Entropieänderung bei elektrischer Stromleitung

Durch einen 300 Ohm-Widerstand wird bei $T=350\text{K}$ für eine Minute ein Strom von 2 Ampere geschickt. Wie groß ist die Entropieänderung im Widerstand, wenn man die Veränderungen in der Stromquelle nicht berücksichtigt? **3 P.**

11. Kapazitäten

Gegeben seien die Kapazitäten C_i der Kondensatoren $i = 1, 2, 3, 4$ und die Spannungsdifferenz V_{AB} zwischen Punkt A und Punkt B in der rechts abgebildeten Schaltung. Berechnen Sie die Spannungsdifferenz V_{CD} . Welche Beziehung müssen die Kapazitäten erfüllen, damit $V_{CD} = 0$?

4 P.



12. Magnetfeld einer ebenen Welle

Eine transversale, linear polarisierte, elektromagnetische Welle breitet sich in z -Richtung in einem ungeladenen, nicht-leitenden Medium aus. Die Feldstärke sei $E(z,t) = E_0 \cos(kz - \omega t)$. Berechnen Sie die magnetische Induktion $B(x,y,z,t)$. **2 P.**

13. Kugelkondensator

Bestimmen Sie die gespeicherte Energie in einem elektrostatischen Feld, das zwischen zwei mit Luft gefüllten konzentrischen Metallkugeln mit Ladungen q und $-q$ und den Radien R und $2R$ herrscht. Begründen Sie die Vorgehensweise. **5 P.**

13. Potentiale

Beweisen Sie, daß ein Gradientenfeld (z.B. $E = -\text{grad} \phi$) wirbelfrei ist, d.h. der elektrostatischen Bedingung der Maxwellgleichung $\text{rot} E = 0$ folgt. **2 P.**

14. Optimaler Innenwiderstand

An eine Batterie wird ein Lastwiderstand R_A angelegt. Zeigen Sie, daß die Leistung, die in R_A abgegeben wird, dann maximal ist, wenn R_A gleich dem Innenwiderstand R_I der Batterie ist. Dabei wird angenommen, daß R_I seriell zu der widerstandslos angenommenen Spannungsquelle geschaltet ist. **3 P.**

15. Randbedingungen für E und B (*)

- a) Berechnen Sie die Sprungbedingungen für Tangential- und Normalkomponenten des elektrischen Felds E an der Grenzfläche zwischen zwei Dielektrika mit relativen Dielektrizitätskonstanten ϵ_1 und ϵ_2 an (ohne freie Oberflächenladungen). **2 P.**
- b) Wie verhalten sich im Vergleich die magnetischen Felder an einer Grenzfläche zwischen unterschiedlichen μ_1 und μ_2 (ohne Oberflächenströme)? Berechnen Sie die Sprungbedingungen. **3 P.**