

**Ausgabe:** 10.05.2019  
**Abgabe:** bis 17.05.2019 12:30 Uhr  
**Briefkästen:** 247, 248, 249

Prof. Dr. D. Suter

**Aufgabe 1: Heißluftballon****5 Punkte**

Ein Heißluftballon mit dem Volumen  $V = 2000 \text{ m}^3$  enthält Luft bei einer Betriebstemperatur von  $T_B = 70 \text{ °C}$  beim jeweiligen Umgebungsdruck  $p_U(z)$ , wobei  $z$  die Höhe des Ballons über dem Meeresspiegel ist. Die Masse der Ballonhülle beträgt  $m_B = 370 \text{ kg}$ . Die Temperatur der Atmosphäre kann mit konstant  $T_U = 0 \text{ °C}$  angenommen werden und der Luftdruck auf Meereshöhe beträgt  $p_U(z_0) = 1 \text{ bar}$ .

- Welche Bedingung muss gelten, damit der Ballon nicht mehr steigt? Stellen Sie dafür alle benötigten Kräfte auf.
- Welcher Druck  $p(z')$  herrscht in der Höhe  $z'$ , in der der Ballon gerade nicht mehr steigt?
- Welche Höhe erreicht der Ballon, wenn die Änderung des Luftdrucks durch die barometrische Gleichung

$$p_U(z) = p_U(z_0) \cdot \exp\left(-\frac{Mg}{RT} \cdot z\right)$$

gegeben ist?

*Hinweis:*

Nehmen Sie die Luft als ideales Gas an. Es gilt die ideale Gasgleichung  $pV = nRT$ . Dabei ist  $n$  die Anzahl der Mole und  $R$  die allg. Gaskonstante. Mit Hilfe der spezifischen Gaskonstante  $R_s = \frac{R}{M}$  mit der molaren Masse  $M$  lässt sich die Gasgleichung auch als  $pV = mR_sT$  schreiben. Bei Luft beträgt die spezifische Gaskonstante  $R_s = 287 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$ .

**Aufgabe 2: Der Oszillograph****6 Punkte**

In einem einfachen Oszillographen werden erst in einer Glühwendel freie Elektronen geschaffen, die dann über eine gewisse Strecke beschleunigt werden. Die Beschleunigung geschieht über das elektrische Feld in einem Plattenkondensator.

Das Elektron hat die Masse  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  und die Ladung  $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

- Wie schnell ist ein Elektron, nachdem es über eine Strecke von  $d = 2 \text{ cm}$  in einem Plattenkondensator, an dem  $U_B = 100 \text{ V}$  anliegen beschleunigt wird?
- Wie groß muss die Beschleunigungsspannung sein, damit das Elektron 50 % der Lichtgeschwindigkeit erreicht? ( $c_0 = 299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ )

Wie weit ändert sich das Ergebnis, wenn man nun die spezielle Relativitätstheorie (SRT) mit berücksichtigt?

*Hinweis:* Die kinetische Energie beträgt in der SRT  $E_{kin} = \underbrace{mc^2\gamma}_{\text{Gesamtenergie}} - \underbrace{mc^2}_{\text{Ruheenergie}}$  mit  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ .

- c) Die Durchschlagsfeldstärke von Luft beträgt ungefähr  $3 \cdot 10^6 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ . D.h. ab dieser Feldstärke kommt es zu einem Blitz. Müssen Sie einen Blitz befürchten, wenn Sie den Aufbau mit Luft fluten? (Es soll die von Ihnen berechnete relativistische Spannung aus Aufgabenteil b) anliegen. Sollten Sie zu keinem Ergebnis gekommen sein verwenden Sie  $U_B = 500 \text{ kV}$ .)  
Die elektrische Feldstärke in einem Plattenkondensator beträgt  $E = \frac{U}{d}$ , wobei  $d$  der Abstand beider Platten ist.

Nachdem die Elektronen beschleunigt wurden (jetzt wieder mit  $U_B = 100 \text{ V}$ ), werden sie durch ein elektrisches Feld in einem Plattenkondensator, das senkrecht auf ihrem Geschwindigkeitsvektor steht, abgelenkt. Sie treten dabei in der Mitte des Plattenkondensators in ihn ein.  $c = 10 \text{ cm}$  hinter dem Plattenkondensator steht ein Leuchtschirm. Die Platten des Plattenkondensators selber sind  $d = 5 \text{ mm}$  auseinander und  $l = 10 \text{ mm}$  lang.

- d) Um welchen Betrag  $b$  wird das Elektron vom Mittelpunkt des Leuchtschirms abgelenkt, wenn die Ablenkspannung  $U_A = 20 \text{ V}$  beträgt ( $U_B = 100 \text{ V}$ ). Leiten Sie zuerst eine allgemeine Gleichung für  $b$  in Abhängigkeit von  $a, d, l, U_A, U_B$  her. Ist dieser Oszillograph dazu geeignet die angegebene Ablenkspannung zu messen?  *Tipp: Eine gute Skizze ist hier sehr hilfreich, sie können sich an Abbildung 1 orientieren!*

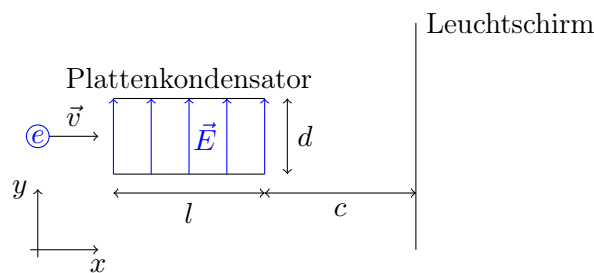


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Ablenkcondensators.

### Aufgabe 3: Die geladene Erde

3 Punkte

In der Nähe der Erdoberfläche misst man durchschnittlich ein elektrisches Feld von ca.  $150 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ . Dies ist natürlich nur eine Näherung, da es von Ort zu Ort stark schwankt. Nehmen Sie an, das Feld sei vertikal nach unten gerichtet.

- a) Wie groß ist die Gesamtladung  $Q$  (mit Vorzeichen) der Erde? Der mittlere Erdradius  $r_E$  beträgt  $6371 \text{ km}$  und die elektrische Feldkonstante  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$ . Verwenden Sie hierfür das Coulomb'sche Gesetz.
- b) Zwei Kugeln der Masse  $100 \text{ g}$  werden aus einer Höhe von  $2 \text{ m}$  fallen gelassen. Eine Kugel ist elektrisch neutral, die andere Kugel trägt eine Ladung von  $+200 \mu\text{C}$ . Welche Kugel fällt schneller? Wie viel schneller fällt sie?
- c) *Bonus: Können Sie aus dem Gauß'schen Gesetz ( $\iint_A \vec{E} d\vec{A} = \frac{Q_{\text{eingeschlossen}}}{\epsilon_0}$ ) die Oberflächenladungsdichte der Erde herleiten (mit den Angaben aus dem Einleitungstext)?*