

Maturprüfung 2021

Physik

Klasse: **4a**

Lehrer: **Dr. Markus Stähelin**

Anzahl Seiten (ohne Deckblatt): **5**

Dauer: **4 Stunden**

Anweisungen/ Erläuterungen: **Keine**

Hilfsmittel:

- **Taschenrechner TI 84 (grafikfähig), Speicher und Programme gelöscht**
- **Gelbe Formelsammlung DMK**
- **Hauseigene Formelsammlung («die kleine Grüne»)**

Hinweis zur Bewertung:

- **Es können insgesamt 61 Punkte erzielt werden. Für 49 Punkte wird die Note 6 vergeben.**

Bevor Sie mit dem Lösen der Aufgaben beginnen, kontrollieren Sie bitte, ob die Prüfung gemäss obiger Aufstellung vollständig ist. Sollten Sie der Meinung sein, dass etwas fehlt, melden Sie dies bitte **umgehend** der Aufsicht.

1) Vier kürzere Aufgaben (15 Punkte)

a) Fallende Corona-Tröpfchen [4 P.]

Bei der Ausbreitung von Corona spielt die Übertragung durch Tröpfchen und Aerosole eine wichtige Rolle. Während kleinste Aerosole nach dem Ausstoss über mehrere Stunden in der Raumluft verbleiben können, senken sich Tröpfchen deutlich schneller auf den Boden ab.

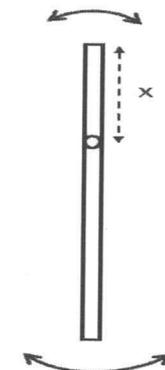
Wenn jemand Tröpfchen mit $100\ \mu\text{m}$ Durchmesser ausstösst: Nach welcher Zeit erreichen diese den Boden? Machen Sie eine Abschätzung, indem Sie mit realistischen Annahmen den Luftwiderstand mit einbeziehen.



b) Sekundenpendel [4 P.]

Eine 30 Zentimeter lange Stange schwingt um eine Achse, die zum oberen Ende den Abstand x hat (siehe Skizze).

Bestimmen Sie x so, dass das Pendel in genau einer Sekunde hin- und her schwingt.



c) Motorenlärm [3 P.]

Ein Presslufthammer erzeugt in 30 Metern Abstand einen Lärmpegel von 85 dB.

c1) Wie gross ist die Schallleistung des Presslufthammers?

c2) Für die obige Berechnung müssen zwei vereinfachende Annahmen getroffen werden. Welche sind das?



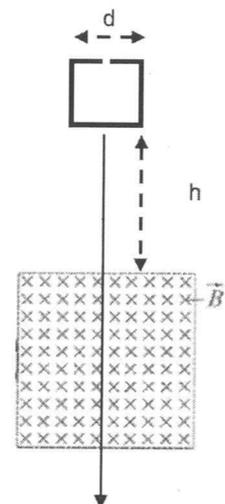
d) Die fallende Stromschleife [4 P]

Eine Spule mit n Windungen und mit quadratischem Querschnitt (Seitenlänge d) fällt aus der Höhe h durch ein Magnetfeld mit der Magnetfeldstärke B hindurch. Die Magnetfeldlinien stehen senkrecht zur Fallrichtung (siehe Skizze).

Anmerkung: Die Spule ist mit einem Unterbruch versehen, damit kein Strom fließen kann.

d1) Wie verändert sich der magnetische Fluss Φ in der Spule? Wie verändert sich die in der Spule induzierte Spannung U_{ind} ? Skizzieren Sie qualitativ den Verlauf von $\Phi(t)$ und $U_{\text{ind}}(t)$. Bringen Sie in der Grafik zum Ausdruck, dass sich die Spule zwischen Ein- und Austritt aus dem B-Feld beschleunigt.

d2) Für $h = 40\ \text{cm}$, $d = 3\ \text{cm}$, $n = 5$ und $B = 0.02\ \text{T}$: Schätzen Sie mit einer Rechnung ab, wie viel Spannung beim Eintreten in das Magnetfeld induziert wird.



2) Der Stromspeicher (12 Punkte)

Hinweis: Alle Teilaufgaben sind unabhängig voneinander lösbar.

Immer, wenn ein Tram bremst, gibt es kinetische Energie ab. Nach Möglichkeit wird diese Energie weiter verwendet, z.B. für die Heizung bzw. Klimaanlage des Trams. Im Jahr 2018 hat die BLT in Münchenstein einen Stromspeicher gebaut (vgl. Bild). Dieser nimmt zusätzlich Energie von bremsenden Trams über die Fahrleitung auf und stellt diese Energie den Trams zum Beschleunigen wieder zur Verfügung.



Wir betrachten ein 75 t schweres Tango-Tram, welches vor einer Haltestelle von der Reisegeschwindigkeit von 45 km/h zum Stillstand abbremst. Die Bremsbewegung ist gleichmässig beschleunigt mit $a = -1 \text{ m/s}^2$.

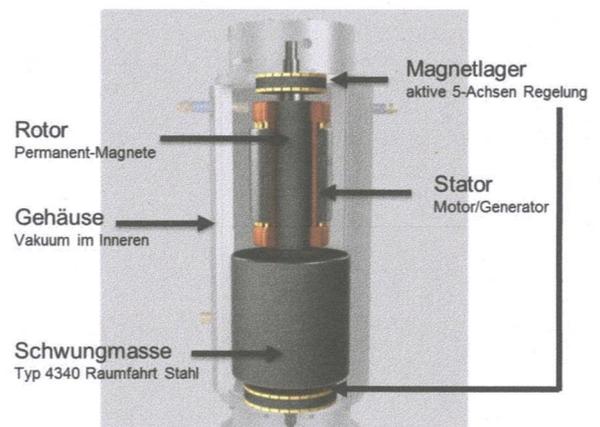
- a) Wie gross sind der Bremsweg und die Bremszeit dieses Trams? [1.5 P.]
- b) Der Stromspeicher kann maximal 1.875 MJ Energie speichern. Welchem Anteil der kinetischen Energie des 45 km/h schnellen Trams entspricht dies? [1.5 P.]

Das Tram bremst nicht mechanisch mit einer Scheiben- oder Trommelbremse, sondern induktiv. Die kinetische Energie wird dabei dem Tram entzogen und wieder vollständig in elektrische Energie umgewandelt. Die momentane Bremsleistung des Trams wird wie folgt verwendet: Die ersten maximal 20 kW verwendet das Tram für den Eigenbedarf (z.B. Klimaanlage). Der Rest wird nach Möglichkeit über den Fahrdraht an andere (anfahrende) Trams oder an den Stromspeicher abgegeben. Der Stromspeicher kann allerdings maximal 125 kW Leistung aufnehmen. Ein allfälliger Überschuss wird über grosse Ohmsche Widerstände auf dem Dach des Trams in Wärme umgewandelt. Reibung und Luftwiderstand wird vernachlässigt.

- c) Bis zu welcher Geschwindigkeit (in km/h) kann das Tram von der Reisegeschwindigkeit aus in einer Sekunde abbremsten, ohne dass überschüssige Bremsleistung über die Widerstände auf dem Dach 'verheizt' werden muss? [2 P.]

Etwas vereinfacht besteht der Stromspeicher aus einem homogenen Stahlzylinder der Dichte 7900 kg/m^3 . Dieser Zylinder kann als Schwungmasse in Rotation versetzt werden und die eingespeisene elektrische Energie als Rotationsenergie speichern. Der Zylinder dreht mit höchstens 20 000 Umdrehungen pro Minute und kann maximal 1.875 MJ Energie speichern. Durchmesser und Höhe des Zylinders sind gleich gross.

- d) Bestimmen Sie den Radius und die Höhe des Zylinders. [3 P.]



Die Spannung in der Fahrleitung (relativ zur Erde) beträgt 600 V, der Fahrdraht besteht aus (kaltgezogenem) Kupfer, hat einen Durchmesser von 12 mm, die Distanz zwischen Tram und Stromspeicher betrage 4.0 km

- e) Welcher Strom fliesst durch den Fahrdraht, wenn eine Bremsleistung von 125 kW abgegeben wird? Wie gross ist der Widerstand des Fahrdrates? Wie gross ist der damit verbundene prozentuale Leistungsverlust durch ohmsche Wärme im Fahrdraht? [3P.]

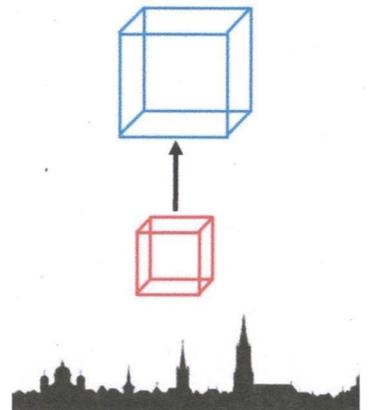
3. Aufsteigende Luftmasse (12 Punkte)

Wir betrachten ein Luftpaket ($V_0 = 1.00 \text{ m}^3$) der Temperatur $T = 14.0 \text{ }^\circ\text{C}$ bei einem Luftdruck von 960 hPa. Dieses Luftpaket verhalte sich wie ein zweiatomiges ideales Gas und befinde sich jederzeit im thermischen Gleichgewicht mit seiner Umgebung.

- Die Luftmasse bestehe aus 80 Volumenprozent Stickstoff und 20 Volumenprozent Sauerstoff. Andere Bestandteile vernachlässigen wir. Wie viele mol Stickstoffmoleküle und wie viele mol Sauerstoffmoleküle enthält das Luftpaket? [2 P.]
- Bestimmen Sie die Masse m des Luftpakets. [1 P.]

Falls Sie a) und b) nicht lösen können, rechnen Sie mit insgesamt 40 mol Luftmolekülen und $m = 1.16 \text{ kg}$ weiter.

- Berechnen Sie die innere Energie des Luftpaketes. Das Luftpaket steigt nun um 100 m an. Die dazu nötige Hubarbeit stammt vollständig aus der inneren Energie der Luft. Dies führt zu einer adiabatischen Expansion des Luftpakets. Bestimmen Sie die neue Temperatur des Luftpakets. [3 P.]
- Bestimmen Sie ebenfalls den neuen Druck und das neue Volumen des Luftpakets. [2 P.]
- Weshalb ist die Annahme einer adiabatischen Expansion realistisch, obwohl es sich dabei um keinen schnellen Prozess handelt? [1 P.]



Neu betrachten wir feuchte Luft. Steigt mit Wasserdampf gesättigte Luft um 100 m auf, so kühlt sie nur um etwa $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ab. Weil kältere Luft weniger Wasserdampf enthalten kann, kondensiert beim Aufsteigen etwas Wasserdampf (Wolkenbildung).

Durch den Wasserdampf ändern sich weder die Stoffmenge, noch die Masse des Luftpakets noch der Adiabatenindex wesentlich im Vergleich zu Teilaufgaben a) bis e).

- Das feuchte Luftpaket steigt wieder um 100 m an und expandiert dabei wieder adiabatisch. Die neue Temperatur beträgt jetzt allerdings $13.5 \text{ }^\circ\text{C}$. Die gesamte Hubarbeit wird jetzt durch die beim Kondensieren des Wasserdampfs freigesetzte Verdampfungswärme verrichtet. Wie viel Wasserdampf kondensiert bei diesem Prozess? [2 P.]

4. Das Grabtuch von Jesus (12 Punkte)

Hinweis: Teilaufgaben a) sowie f) und g) sind unabhängig von Teilaufgaben b) bis e).

Von einem Leinentuch eines Toten, welches in Turin aufbewahrt wird, wurde behauptet, dass es das Grabtuch von Jesus sei. Um diese Aussage zu prüfen, wurde zur Altersbestimmung des Tuches ein briefmarkengrosses Stück des Tuchs mit der *Accelerator Mass Spectrometry (AMS)* an der ETH Zürich analysiert. Dazu wurde die Probe verbrannt und das dabei entstandene Kohlendioxidgas in einem Massenspektrometer analysiert.

Hinweis: Alle Teilaufgaben dieser Aufgabe dürfen nicht-relativistisch gerechnet werden.

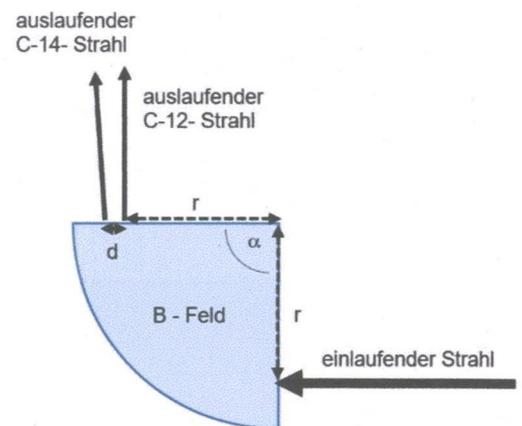
a) Beschreiben Sie die Altersbestimmung eines Objekts mit der C-14-Methode möglichst prägnant in wenigen Sätzen.

[2 P.]

b) Im Beschleuniger der ETH werden die Kohlenstoffisotope in einer Quelle zuerst einfach ionisiert und dann mit 0.6 MeV beschleunigt. Welche Geschwindigkeit erreichen die ionisierten C-12- und C-14- Isotope? [2 P.]

Wenn Sie die Geschwindigkeiten nicht bestimmen konnten, so rechnen Sie mit folgenden Werten weiter: $v_{C-12} = 3.0 \cdot 10^6$ m/s und $v_{C-14} = 2.8 \cdot 10^6$ m/s

Nach der Beschleunigung tritt der Strahl in ein Magnetfeld ein (nebenstehende Skizze, $\alpha = 90^\circ$, Radius $r = 750$ mm), welches dazu dient, die C-12- und die C-14-Ionen zu trennen. Das Magnetfeld steht senkrecht zur Strahlrichtung. Die Stärke des Magnetfelds wird so eingestellt, dass die C-12-Ionen den in der Skizze blau gefärbten Magnetfeldbereich wieder senkrecht mit gleichem Radius r verlassen.



c) Welche Stärke hat das Magnetfeld? [1.5 P.]

d) Zeigt das Magnetfeld in der Skizze aus der Zeichenebene hinaus oder in die Zeichenebene hinein? [1 P]

e) In welchem Abstand d verlassen die beiden Strahlen das Magnetfeld? [2 P.]

Hinter dem Magnetfeld ist ein Detektor angebracht, in welchem die ankommenden C-14-Isotope gezählt werden. Dabei wird eine Aktivität von 4.2 Bq gemessen. Der Gesamtstrom der C-12-Ionen beträgt $0.6 \mu\text{A}$.

f) Wie gross ist das gemessene C-14/C-12-Verhältnis? [1.5 P.]

g) Die Anteile der Kohlenstoffisotope in der Luft betragen für C-12 98.93% und für C-14 $1.2 \cdot 10^{-10}\%$. Berechnen Sie daraus und mit dem in f) bestimmten Verhältnis das Alter des Grabtuchs. [2 P.]

5. Der Sehvorgang (10 Punkte)

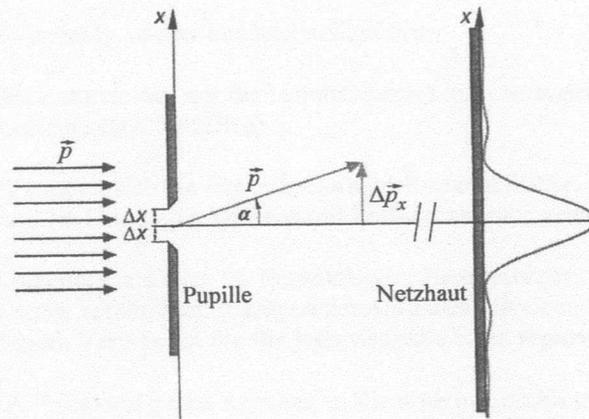
In dieser Aufgabe soll der Sehvorgang des Menschen untersucht werden. Vereinfachend nehmen wir an, dass alle Photonen eine Wellenlänge von 500 nm haben. Das Auge wird einer Strahlung von 80 W/m^2 Intensität ausgesetzt. Die Pupille hat dann einen Durchmesser von 4.0 mm.

a) Wie viele Photonen fallen pro Sekunde ins Auge? [3 P.]

Wenn Sie a) nicht berechnen konnten: Rechnen Sie mit $2 \cdot 10^{15}$ Photonen pro Sekunde weiter.

b) Welche Kraft übt die Strahlung auf das Auge aus, wenn Sie annehmen, dass alle Photonen auf der Netzhaut absorbiert werden? [2 P.]

c) Beim Durchqueren der Pupille wird der Aufenthaltsort eines Photons in x -Richtung nur bis zu einem bestimmten Mass Δx (siehe Skizze) bestimmt. Berechnen Sie die daraus resultierende Unschärfe für die Impulskomponente in dieser Richtung. [1 P.]



Zur Abbildung: Die Photonen treffen von links kommend auf die Pupille. Das Bild entsteht auf der Netzhaut; dort ist der Intensitätsverlauf des Lichtes dargestellt.

Wenn Sie c) nicht lösen können, rechnen Sie mit einer Unschärfe von $3 \cdot 10^{-32} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ weiter.

d) Die Impulsunschärfe bewirkt, dass sich das durch die Pupille eintretende Licht in einem Kegel mit halbem Öffnungswinkel α (vgl. Skizze) verteilt. Auf der Netzhaut entsteht deshalb ein Leuchtfleck. Bestimmen Sie den Radius dieses Leuchtflecks für eine Augenzuglänge von 22 mm. [2 P.]

e) Man könnte diesen Leuchtfleck auch als Beugungsscheibchen eines Beugungsvorgangs am Loch auffassen. Bestimmen Sie den Radius des Beugungsscheibchens (Abstand von der Mitte des Beugungsbilds bis zum ersten Minimum) für eine Augenzuglänge von 22 mm und vergleichen Sie mit dem Ergebnis von d). Was schliessen Sie daraus? [2 P.]