

Maturprüfung 2018

Physik

Klasse: 4a/4b Physiklehrer: Nils Detlefsen, Dr. Jonas Gloor

Zeit: 4 h

Anzahl Seiten: 5 Seiten
(ohne Deckblatt)

Inhalt: 5 Aufgaben

1. Wasserkraftwerk Amsteg
2. Gallileo-Satellit
3. Joule-Prozess
4. Induktive Höranlage
5. Drehschwingungen

Hinweise: Beginnen Sie die Lösung jeder Aufgabe auf einem neuen Blatt. Der Lösungsweg muss klar ersichtlich und nachvollziehbar sein. Die Lösungen sollen sinnvoll gerundet werden.

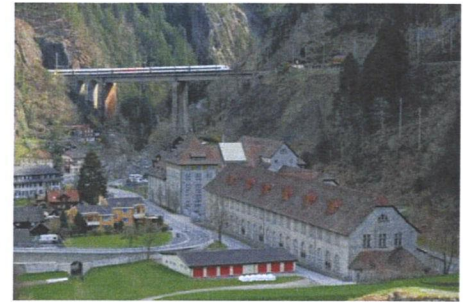
Hilfsmittel: Formelsammlung (DMK/DPK/DCR – Begriffe, Formeln, Tabellen)
Taschenrechner (TI-84 mit leerem Speicher)

Bewertung: Jede Aufgabe geht mit gleichem Gewicht in die Bewertung ein. Es sind maximal 60 Punkte erreichbar. Für die Note 6 sind mindestens 80% der maximal erreichbaren Punkte notwendig.

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.

Aufgabe 1: Wasserkraftwerk Amsteg

Das Wasserkraftwerk Amsteg I versorgt die Gotthard-Bahnstrecke mit Strom¹. In den Fallrohren des Kraftwerks fließen pro Sekunde 2365 Liter Wasser vom Stausee („Wasserschloss“) zu jeder der 275 m tiefer gelegenen Turbinen im Tal, wo mit Hilfe eines Generators Strom produziert wird.



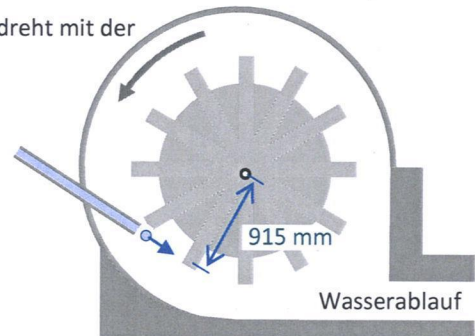
- a) Berechnen Sie die maximal mögliche Leistung pro Turbine. [2 P]
- b) Mit welcher Geschwindigkeit würde das Wasser auf die Turbine treffen, wenn es im freien Fall 275 m tief fallen würde? Wie lange würde ein solcher freier Fall dauern? [2 P]

Hinweis: In Wirklichkeit trifft das Wasser wegen Reibungsverlusten in der Düse etwas langsamer auf die Turbinenschaufeln.

- c) Damit die Turbine (Radius $r = 915 \text{ mm}$) Bahnstrom mit der richtigen Frequenz erzeugt, muss sie mit genau $333 \frac{1}{3}$ Umdrehungen pro Minute rotieren. Bestimmen Sie die Bahngeschwindigkeit des Punktes in den Schaufeln, auf den der Wasserstrahl trifft. [2 P]

Die Turbine dreht mit der Frequenz f

Einlaufdüse



- d) Das Auftreffen eines Wassertropfens auf die rotierenden Schaufelräder (Bahngeschwindigkeit s. Aufgabe c)) kann idealisiert als vollkommen elastischer Stoss aufgefasst werden. Dabei ist die Masse des Wassertropfens im Vergleich zur Masse des Schaufelrads vernachlässigbar. Mit welcher Geschwindigkeit sollte der Wassertropfen auf das Schaufelrad prallen, damit seine kinetische Energie vollständig an das Schaufelrad abgegeben wird? [2 P]
- e) Aus dem Stausee werden pro Sekunde 2365 Liter Wasser mit der in d) berechneten Geschwindigkeit auf die Turbinenschaufel geleitet. Welche mittlere Kraft und welches mittlere Drehmoment übt der Wasserstrahl auf die Turbine aus? [2 P]

(Falls Sie Aufgabe d) nicht lösen konnten, rechnen Sie mit dem Ersatzwert $v = 65 \text{ m/s}$.)

- f) Berechnen Sie aus dem Drehmoment die Leistung der Turbine und ermitteln Sie durch Vergleich mit Aufgabe a) den Gesamtwirkungsgrad des Kraftwerks. [2 P]

¹Das Kraftwerk Amsteg I war von 1923 bis 1998 in Betrieb. Im Hinblick auf den Gotthard-Basistunnel wurde es 1998 durch das Kraftwerk Amsteg II ersetzt.

Aufgabe 2: Galileo Satellit

Die GPS-Satelliten des europäischen Navigationssystems Galileo haben eine Masse von 733 kg und bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von 3.67 km/s auf kreisförmigen Bahnen um die Erde.



Hinweis: Teilaufgaben a), b), c) und d) sind unabhängig voneinander lösbar.

- a) (i) In welcher Höhe **über der Erdoberfläche** kreisen die GPS-Satelliten? (Mittlerer Erdradius: 6371 km) [1.5 P]
- (ii) Welche Energie ist mindestens notwendig, um einen Satelliten von der Erde in seine kreisförmige Umlaufbahn zu bringen? (Die Luftreibung und die Erdrotation können Sie vernachlässigen.) [1.5 P]
- b) Für die Energieversorgung hat der Satellit Solarpanel, die mit mehreren Tausend Solarzellen bestückt sind. Die gesamte Solaranlage soll bei senkrechter Sonneneinstrahlung und maximaler Leistung eine Spannung von 50.4 V und einen Strom von 60 A liefern. Erläutern Sie anhand einer Skizze, wie man die einzelnen Solarzellen zusammenschalten muss, um diese Spannungs- bzw. Stromwerte zu erhalten, und berechnen Sie die notwendige Grösse der gesamten Panelfläche. (Sonnenintensität bei senkrechtem Einfall: 1367 W/m^2) [3 P]

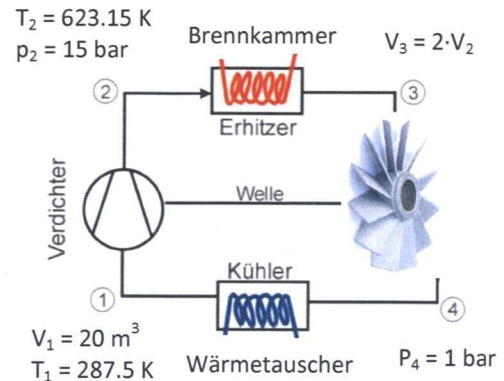
Elektrische Daten der Solarzellen

Spannung bei maximaler Leistung	2.4 V
Strom bei maximaler Leistung	0.5 A
Wirkungsgrad bei Betriebsbedingungen	22 %

- c) Der Aufprall der Photonen auf das Solarpanel bewirkt eine sehr kleine, aber nicht vernachlässigbare Kraft auf den Satelliten, die ihn mit der Zeit aus seiner Umlaufbahn heraustreibt. Die Flugbahn muss daher immer wieder mit Steuerdüsen korrigiert werden.
- Ermitteln Sie die Kraft, die die Photonen bei senkrechtem Einfall und einer Sonnenintensität von 1367 W/m^2 auf das Solarpanel ausüben. (Nehmen Sie an, dass sämtliche Photonen von der Solarzelle absorbiert werden. Zudem dürfen Sie mit einer mittleren Wellenlänge des Sonnenlichts von 500 nm rechnen. Falls Sie Aufgabe b) nicht lösen konnten, verwenden Sie für die Panelfläche den Wert 10 m^2) [3 P]
- d) Nicht nur Photonen, sondern auch hochenergetische Protonen der kosmischen Strahlung, die aus dem $2.5 \cdot 10^{20} \text{ m}$ entfernten Zentrum der Milchstrasse kommen, können mit dem Satelliten kollidieren. Ein solches Proton hat eine Gesamtenergie von 10^{13} eV .
- (i) Bestimmen Sie die Geschwindigkeit eines solchen Protons. [1.5 P]
- (ii) Wie viele Jahre verstreichen im Bezugssystem des Satelliten und im Bezugssystem des Protons während das Proton vom Zentrum der Milchstrasse zum Satelliten reist? [1.5 P]

Aufgabe 3: Joule-Prozess

In Gasturbinen findet ein thermodynamischer Prozess statt, der idealisiert mit folgendem Kreisprozess beschrieben werden kann: Luft wird zunächst in einem Verdichter adiabatisch komprimiert (Schritt 1-2). Dann wird in der Brennkammer Treibstoff eingesprüht und durch das Verbrennen des Treibstoff-Luft-Gemischs wird das Gas isobar erwärmt (Schritt 2-3). Das heiße Gas kann nun durch adiabatische Expansion die Turbine antreiben (Schritt 3-4) und wird schliesslich in einem Wärmetauscher isobar wieder auf die Anfangstemperatur heruntergekühlt (Schritt 4-1).



In der ganzen Aufgabe wird ein ideales Gas mit 5 Freiheitsgraden angenommen.

- Zeichnen Sie ein p-V-Diagramm dieses Kreisprozesses schematisch auf und geben Sie bei jedem Prozessschritt (z.B. mit Pfeilen) an, ob Arbeit bzw. Wärme in das System hineingesteckt bzw. abgeführt wird. [3 P]
- Berechnen Sie mit den Angaben in der Abbildung die Temperaturen T_3 und T_4 . [3 P]
- Zeigen Sie, dass die nach aussen abgegebene Arbeit W_{raus} folgendermassen geschrieben werden kann:

$$W_{\text{raus}} = |W_{\text{abgegeben}}| - |W_{\text{zugeführt}}| = \frac{7}{2} nR(T_3 - T_2 + T_1 - T_4)$$

[3 P]

- Zeigen Sie mit Hilfe von Aufgabe c), dass für den thermodynamische Wirkungsgrad des Joule-Prozesses die folgende Formel gilt:

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

[3 P]

Aufgabe 4: Induktive Höranlage

Vielleicht ist Ihnen das abgebildete Signet auch schon aufgefallen. Es weist z.B. in Theatersälen, Mehrzweckräumen oder Kinos auf induktive Höranlagen hin, welche es den Trägern von Hörgeräten ermöglichen, dem Bühnengeschehen besser zu folgen. Dabei wird ein Audiosignal (z.B. vom Redner) mit einem Mikrofon aufgezeichnet und dann als Wechselstrom in eine Drahtschleife, die die Sitzreihen im Boden umläuft, eingespeist. Der (zeitlich ändernde) Strom in der Schleife erzeugt ein (sich zeitlich änderndes) Magnetfeld im Raum. Mittels Induktion kann dieses Magnetfeld in den Hörgeräten in eine (sehr kleine) Spannung umgewandelt werden, die (nach elektronischer Verstärkung) als Audiosignal an das Ohr des Trägers abgegeben wird.



In dieser Aufgabe zeige das Magnetfeld am Ort, wo sich ein Hörgerät befindet, exakt nach oben bzw. unten.

Hinweis: Teilaufgaben c) und d) sind unabhängig von a) und b) lösbar.

- a) Vom Mikrofon wird ein Sinuston ($f = 800 \text{ Hz}$) als Wechselstrom in die Drahtschleife eingespeist, wodurch sich das Magnetfeld am Ort des Zuschauers ebenfalls sinusförmig als Funktion der Zeit ändert:

$$B(t) = 1.5 \cdot 10^{-6} \text{ T} \cdot \sin(2\pi \cdot 800 \text{ Hz} \cdot t)$$

Im Hörgerät des Zuschauers befindet sich eine kleine Spule mit 100 Windungen, deren Achse parallel zum Magnetfeld verläuft. Der Durchmesser der Spule beträgt 5 mm. Geben Sie den Effektiv- und den Scheitelwert der winzigen Spannung an, die in der Spule induziert wird. [3 P]

- b) Der Träger des Hörgeräts nickt jetzt ein und sein Kopf neigt sich plötzlich um den Winkel α zur Seite. Erklären Sie mit einer Skizze, um welchen Faktor sich die induzierte Spannung dadurch ändert. [3 P]

- c) Die Schleife der Höranlage sei 40 m lang und bestehe aus einem (kaltgezogenen) Kupferdraht mit 3 mm^2 Querschnittsfläche. Wie gross ist der Ohm'sche Widerstand der Schleife? [1 P]

- d) Die Schleife hat als Spule eine Induktivität von $70 \cdot 10^{-6} \text{ H}$. Wie gross ist die Impedanz der Schleife, wenn (i) ein tiefer Ton der Frequenz 100 Hz und (ii) ein hoher Ton der Frequenz 10000 Hz übertragen wird? (Falls Sie c) nicht lösen konnten, rechnen Sie mit einem Ohm'schen Widerstand der Schleife von 0.25Ω .) [2 P]

- e) Beurteilen Sie aufgrund der Überlegungen und Ergebnisse von Aufgabe a) und d), wie die Höhe der Induktionsspannung von der Frequenz des übertragenen Tons abhängt, indem Sie die beiden Spezialfälle sehr tiefer und sehr hoher Frequenzen betrachten. Skizzieren Sie rein qualitativ die Abhängigkeit der Induktionsspannung von der Frequenz in einem (einzigen) Diagramm. [3 P]

Aufgabe 5: Drehschwingungen

Die abgebildete mechanische Tischuhr der Firma Jaeger-LeCoultre ist ein Energiesparwunder. Jedes Teil der Uhr wurde so konstruiert, dass möglichst wenig Reibung auftritt. Als Unruh der Uhr wurde ein Torsionspendel verwendet: An einem extrem dünnen verdrehten Draht hängt ein Metallzylinder, der sich periodisch erst rechtsherum und dann linksherum dreht. Damit die Luftreibung möglichst wenig Energie aus dem System zieht, wird die ganze Uhr in ein Glasgehäuse eingebaut und die mittlere Rotationsgeschwindigkeit des Zylinders sehr klein gehalten.



- a) Bei einem Torsionspendel ist das rücktreibende Drehmoment des verdrehten Drahtes proportional zum Drehwinkel, was zu einer harmonischen Drehschwingung führt. Stellen Sie die Bewegungsgleichung für diese Situation auf. Lösen Sie diese mit dem Ansatz $\hat{\alpha}(t) = \hat{\alpha}_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$ und zeigen Sie damit, dass die Periode der Drehschwingung durch folgende Gleichung gegeben ist:

[3 P]

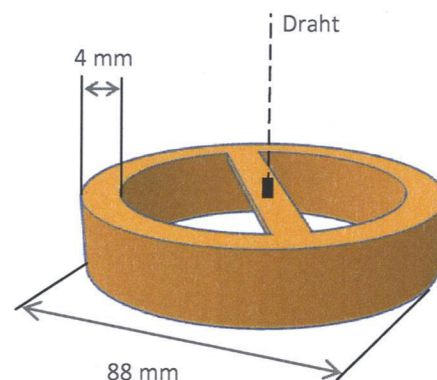
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{D}}$$

- b) Berechnen Sie die Periode des Pendels mit folgenden Angaben: [3 P]

- Das Direktionsmoment bzw. die „Torsionsfederkonstante“ D des Drahtes beträgt: $4.02 \cdot 10^{-6} \text{ Nm}$
- Der rotierende „Pendel“-Körper besteht aus einem Zylinderring und einer kleinen Querstange die wir näherungsweise wie einen Quader behandeln.

Masse Ring: 205.8 g

Masse Querstange: 5.1 g, Breite Querstange: 4 mm



- c) Die Amplitude der Rotationsbewegung des Zylinders beträgt 300° . Berechnen Sie die maximale Winkelgeschwindigkeit des Pendels und die Energie, die in der Schwingung gespeichert ist. [3 P]

- d) Die Herstellerfirma wirbt damit, dass 60 Millionen dieser Uhren nicht mehr Energie als eine 15-Watt-Glühlampe verbrauchen. Diese Energie wird durch die aufgezugene Feder in der Uhr geliefert und muss die Reibungsverluste in der Uhr kompensieren. Messungen von D. Moline und J. Wagner (Clemson University, USA) zeigen, dass die Reibungsverluste zu 85% im Uhrengetriebe und zu 15% beim Torsionspendel auftreten und dass die Amplitude des Drehpendels pro Periode um 1 % abnimmt, wenn keine Energie mehr zugeführt wird. Stimmt die Angabe der Herstellerfirma? [3 P]