

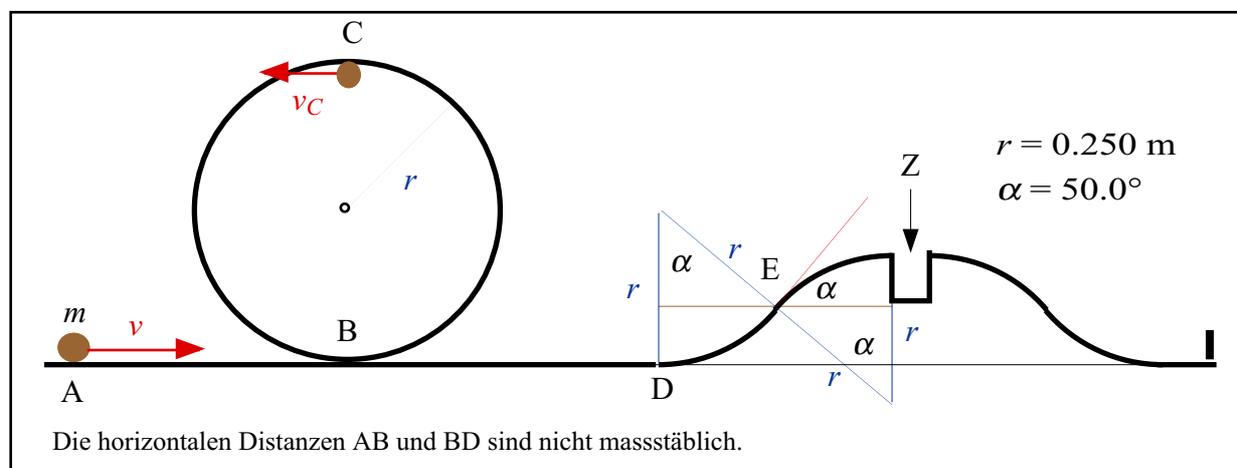
Bemerkungen: - Die Prüfung dauert 4 Stunden  
- Beginnen Sie jede Aufgabe auf einem neuen Blatt.  
- Daten, Formeln und formale Lösungen müssen auf dem Lösungsblatt stehen.  
- Die Lösungswege mit dem CAS-Taschenrechner müssen dokumentiert werden.  
- Die Darstellung der Lösungen wird bewertet.

Hilfsmittel: - Formelsammlung und Grafikrechner mit Anleitungsbuch.

Bewertung: - Bei jeder Aufgabe sind 10 Punkte möglich, Note 6 für 50 Punkte.

### 1. Aufgabe: Minigolf

Beim Minigolf muss der Ball vom Startpunkt A das Ziel Z der dargestellten Bahn erreichen.



Beim ersten Versuch fällt der Ball vor dem Erreichen des Punktes C vom Looping herunter.

Beim zweiten Versuch mit grösserer Geschwindigkeit "schafft" der Ball den Looping, doch beim Punkt E springt der Ball von der Bahn ab und fliegt über das Ziel hinweg.

Der dritte Versuch scheint erfolgreich zu werden, doch kurz vor dem Ziel hält der Ball an und rollt zurück.

Es soll analysiert werden, wie der Ball direkt (d.h. mit einem Schlag) das Ziel erreichen kann.

Alle Krümmungsradien haben den Wert  $r = 0.250$  m, der Winkel  $\alpha$  beträgt  $50.0^\circ$ .

Reibung und Rotation sollen bei den Berechnungen vernachlässigt werden.

- Wie gross muss die Geschwindigkeit  $v_C$  im Punkt C mindestens sein, damit der Ball den Looping "schafft"? Wie gross ist dann die Geschwindigkeit  $v_E$  beim Punkt E?
- Wenn der Ball beim Wendepunkt E die Geschwindigkeit  $v_E$  hat, springt er unter dem Winkel  $\alpha$  von der Bahn ab. Zeigen Sie, dass der Ball bei diesem schiefen Wurf über das Ziel fliegt.
- Wie gross darf die Geschwindigkeit  $v_{E,max}$  im Punkt E höchstens sein, wenn der Ball nicht von der Bahn abspringen soll? Kann der Ball mit dieser Geschwindigkeit das Ziel erreichen? (Hinweis: Der Ball springt ab, wenn die Komponente der Gewichtskraft in Richtung zum Kreismittelpunkt kleiner ist als die Zentripetalkraft.)
- Beschreiben Sie in Worten:  
Weshalb kann der Ball das Ziel erreichen, auch wenn er im Punkt E von der Bahn abspringt?  
Weshalb ist es in der Realität möglich, dass der Ball den Looping "schafft" und trotzdem nicht über das Ziel springt?

## 2. Aufgabe: Breitling Orbiter 3

Mit dem "Breitling Orbiter 3" schafften Bertrand Piccard und Brian Jones im Jahre 1999 die erste Erdumrundung mit einem "Luftballon". Sie legten dabei in 19 Tagen, 21 Stunden und 47 Minuten eine Strecke von 45'168 km zurück. Der Ballon (Druckkabine, Ballonhülle) hatte eine Masse von 8,1 t und ein maximales Fassungsvermögen für Helium von 18'500 m<sup>3</sup>. Die Flughöhe war zwischen 7 km und 11 km; die Lufttemperatur sank dabei bis gegen - 50 °C.

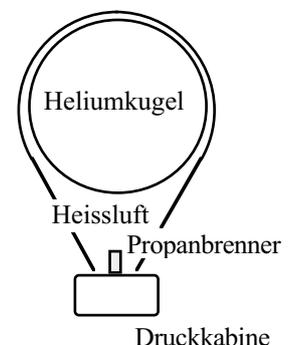


Für den Luftdruck gilt  $p = p_n \cdot e^{-\frac{h}{H}}$  mit  $p_n = 1013$  mbar und  $H = 8000$  m.

- Wie gross war die Durchschnittsgeschwindigkeit von Piccard und Jones bei ihrer Erdumrundung? Wie war dies möglich?
- Der Innendruck in der Druckkabine entsprach etwa dem Druck in 3000 m Höhe über Meer. Wie gross war der Innendruck?
- In welche Höhe kann ein "gewöhnlicher" Gasballon mit der Masse 8,1 t und dem maximalen Fassungsvermögen für Helium von 18'500 m<sup>3</sup> höchstens aufsteigen, wenn die Lufttemperatur konstant als 0 °C angenommen wird? Wie gross ist in dieser Höhe der Luftdruck? Wie gross ist die Masse des Heliums in dieser Gleichgewichtslage des Ballons? (Tip: Formulieren Sie zuerst die Gleichung für die Dichte in Abhängigkeit von der Höhe.)
- Was geschieht, wenn sich der Ballon (nicht aber die Luft) tagsüber durch die Sonneneinstrahlung auf über 50 °C erwärmt? Wie **m u s s** der Pilot darauf reagieren, und welche Folgen hat dies? Welche Folgen hat dies in der folgenden Nacht, respektive an den folgenden Tagen? Beantworten Sie diese Frage in Worten.

Der "Breitling Orbiter 3" war eine "Rozière", eine Kombination von Gas- und Heissluftballon (Skizze). Die Heliumkugel im oberen Teil der Hülle trägt den Ballon. Die Luft im unteren Teil kann mit einem Propanbrenner erwärmt werden. Damit kann auch das Helium erwärmt werden. Die Aussenhaut des Ballons war beidseitig mit Aluminium bedampft.

- Weshalb war diese aufwändige Konstruktion Voraussetzung für das Gelingen des Rekordfluges von Piccard und Jones? Wann wurde der Propanbrenner vor allem eingesetzt?



### 3. Aufgabe: Wärmelehre

In einem zylindrischen Gefäss mit  $0.750 \text{ dm}^2$  Querschnittsfläche befinden sich  $2.73 \text{ g}$  Neon mit der Temperatur  $20.0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Das Gefäss enthält einen Heizwendel und wird durch einen reibungsfrei gleitenden Kolben mit der Masse  $9.00 \text{ kg}$  abgeschlossen. Der äussere Luftdruck beträgt  $980 \text{ mbar}$ .

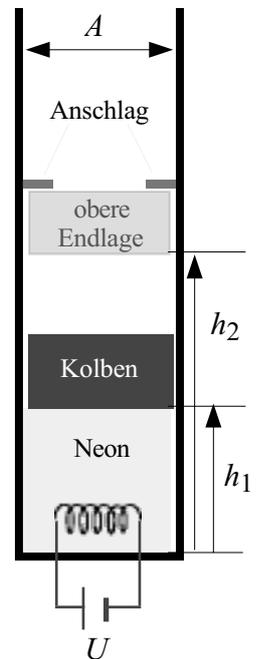
- a) Wie viele Neon-Atome befinden sich im Gefäss und wie gross ist ihre mittlere Geschwindigkeit? Wie gross ist der Druck  $p_1$  im Innenraum des Gefässes und welche Höhe  $h_1$  hat der Kolben?

Nun wird an den Heizwendel eine Spannung von  $6.00 \text{ V}$  angelegt; dadurch fliesst eine Stromstärke von  $4.80 \text{ A}$ . Es wird angenommen, dass die Gefässwand weder Wärme aufnimmt noch abgibt.

- b) Nach  $14.3 \text{ s}$  erreicht der Kolben den oberen Anschlag in der Höhe  $h_2$ . Wie gross ist während der Erwärmung der Druck? Wie gross sind danach Druck, Temperatur und Volumen des Neons, die Höhe  $h_2$  des Kolbens und die Geschwindigkeit der Atome? Erläutern Sie in Worten wie der Druck  $p_1$ , respektive der Druck  $p_2$  durch die Bewegung der Atome erzeugt wird.

Wenn der Innendruck einen Wert von  $2.00 \text{ bar}$  erreicht, wird aus Sicherheitsgründen automatisch der obere Anschlag abgesprengt und die Heizung ausgeschaltet. Der Kolben kann sich dann weiter nach oben bewegen und wird später in die Ausgangslage zurück kehren.

- c) Bei welcher Temperatur erreicht das Neon den maximal erlaubten Druck? Wie lang dauert es, bis der Maximalwert des Druckes erreicht wird?  
d) Was für ein Prozess läuft nach dem Absprengen des Anschlages ab? Welche maximale Höhe erreicht der Kolben?



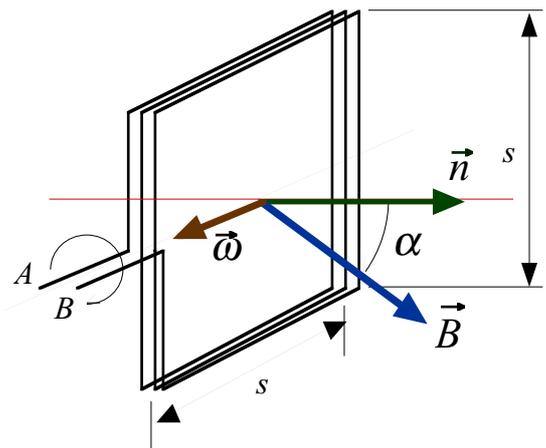
### 4. Aufgabe: Generator

Mit einem  $l = 500 \text{ m}$  langen Kupferdraht vom Durchmesser  $d = 0.400 \text{ mm}$  soll eine flache quadratische Spule gewickelt werden (siehe Abbildung). Die Spule wird im homogenen Magnetfeld der Erde (Flussdichte  $B = 47.0 \text{ } \mu\text{T}$ ) mit konstant  $360$  Umdrehungen pro Minute so gedreht, dass die Drehachse stets senkrecht zur Magnetfeldrichtung steht. Die Kantenlänge  $s$  der Spule soll so gewählt werden, dass an den Spulenden  $A B$  die Spitzenspannung  $0.370 \text{ V}$  gemessen wird.

- a) Wie gross muss die Kantenlänge  $s$  der Spule gewählt werden?

Die Spule werde nun zwischen  $A$  und  $B$  kurzgeschlossen.

- b) Welcher Strom fliesst durch die Spule?  
c) In welcher Stellung (Angabe des Winkels  $\alpha$ ) muss die Spule mit dem grössten Drehmoment gedreht werden? Wie gross ist dieses maximale Drehmoment?  
d) Mit welcher durchschnittlichen Leistung muss die Spule gedreht werden?



### 5. Aufgabe: Mars

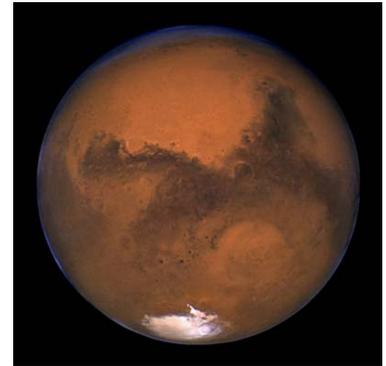
Im Jahre 2004 erlebten wir neben dem Venustransit auch die grösst mögliche Marsnähe zur Erde. Diese betrug 0.524 astronomische Einheiten. Eine astronomische Einheit (1 AE) ist die Entfernung zwischen Erde und Sonne:  $1 \text{ AE} = 1.50 \cdot 10^{11} \text{ m}$ .

Der Planet Mars besitzt einen Radius von  $3.40 \cdot 10^6 \text{ m}$ .

In der Entfernung 1.76 Marsradien von der Marsoberfläche umkreist der Satellit Phobos in bloss 7.66 Stunden den Planeten.

Alle Bahnen sollen als kreisförmig angenommen werden.

- Was ist ein Venustransit? Kann man grundsätzlich auch einen Marstransit beobachten? Warum?
- Berechnen Sie aus den obigen Daten die Entfernung Mars-Sonne.
- Berechnen Sie aus den Daten des Satelliten Phobos die Masse des Planeten Mars. (Ergebnis siehe FoTa)
- Berechnen Sie die durchschnittliche Dichte des Mars.
- Berechnen Sie die auf der Marsoberfläche herrschende Fallbeschleunigung.
- Die Sonne strahlt mit einer Leistung von  $3.83 \cdot 10^{26} \text{ W}$ . Welche Strahlungsleistung wird beim Planeten Mars pro Quadratmeter gemessen? (Solarkonstante auf Mars)
- Berechnen Sie eine durchschnittliche Temperatur der Marsoberfläche.



### 6. Aufgabe: Kernfusion

In der Sonne finden laufend Kernfusionen statt. Wenn der Zusammenstoss zwischen zwei Protonen genügend heftig erfolgt, so kann daraus ein Deuteriumkern  ${}^2\text{H}$  entstehen. Damit die Fusion eintreten kann, müssen sich die beiden Protonen bis auf eine Distanz von  $1.0 \cdot 10^{-14} \text{ m}$  nähern (Zentrumsabstand). Eines der beiden fusionierenden Protonen verwandelt sich dann spontan in ein Neutron. Bei dieser Verwandlung wird ein Positron  $\beta^+$  (Elektron mit positiver Ladung) und ein massenloses Neutrino  $\nu$  emittiert. Aus der anschliessenden Fusion des Positrons mit einem Elektron entstehen zwei Gammaquanten mit der Gesamtenergie  $16.4 \cdot 10^{-14} \text{ J}$ .

- Formulieren Sie die Fusionsreaktion in der Form  $p + p \rightarrow \dots$
- Zeigen Sie: Die bei der Fusion eines Positrons mit einem Elektron frei werdende Energie entspricht der doppelten Elektronenmasse.
- Wie viel Energie wird bei der Bildung von 1.00 g Deuterium nach dem beschriebenen Verfahren frei?
- Nehmen Sie an, dass die Fusion durch den Zusammenstoss von zwei sich entgegengesetzt mit gleicher Geschwindigkeit bewegenden Protonen eingeleitet wird. Mit welcher Geschwindigkeit müssen sich die beiden Protonen vor der Kollision bewegen?
- Welche Temperatur ordnen Sie einem Plasma aus Protonen zu, die sich im Durchschnitt mit der in d) ausgerechneten Geschwindigkeit bewegen?
- Wieso kann die beschriebene Kernfusion in der Sonne stattfinden, obwohl im Mittelpunkt der Sonne bloss eine Temperatur von ca.  $1.5 \cdot 10^7 \text{ K}$  herrscht?