

# 53. Internationale PhysikOlympiade Tokyo, Japan 2023



## Wettbewerbsleitung

Dr. Stefan Petersen      Dürken Quaas  
Tel.: 0431 / 880 - 5120      Tel.: 0431 / 880 - 5387  
email: [petersen@ipho.info](mailto:petersen@ipho.info)      email: [quaas@ipho.info](mailto:quaas@ipho.info)

Anschrift: IPN · Leibniz-Institut für die Pädagogik der  
Naturwissenschaften und Mathematik  
Olshausenstraße 62 · 24118 Kiel

web: [www.ipho.info](http://www.ipho.info)      instagram: @ipho\_deutschland

## Klausur der 2. Runde im Auswahlwettbewerb zur 53. IPhO 2023

### Beachte unbedingt die Regeln und Hinweise für die Klausur!

In der Klausur sind **maximal 80 Punkte** zu erreichen;  
in den Multiple-Choice Aufgaben 35 Punkte und bei den längeren Aufgaben 45 Punkte.

Ich versichere, die Klausur entsprechend den Regeln und Hinweisen, ohne fremde Hilfe und innerhalb von 180 Minuten geschrieben zu haben.

**Name:** *Name*      **Schülercode:** *Code*

**Unterschrift:** \_\_\_\_\_

## Multiple-Choice Aufgaben

Finde zu jeder der folgenden sieben Fragen den richtigen Lösungsbuchstaben und begründe physikalisch, warum dies die korrekte Lösung ist. Es ist jeweils nur eine Antwortmöglichkeit richtig. Nutze den Platz in der Box für Rechnungen sowie Begründungen und notiere deinen Antwortbuchstaben an der vorgesehenen Stelle am Ende jeder Box.

### Aufgabe 1 Sinkender Körper (MC-Aufgabe)

**(5 Pkt.)**

Wenn ein fester Körper mit der Dichte  $1,80 \text{ g cm}^{-3}$  in zähem Öl der Dichte  $0,90 \text{ g cm}^{-3}$  mit konstanter Geschwindigkeit sinkt, so ...

- A ... wirkt auf den Körper keine Gewichtskraft.
- B ... ist die Masse des Körpers gleich der Masse der verdrängten Flüssigkeit.
- C ... ist die Gewichtskraft des Körpers im Gleichgewicht mit der Reibungskraft.
- D ... ist die Auftriebskraft auf den Körper gleich der Reibungskraft.

### Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

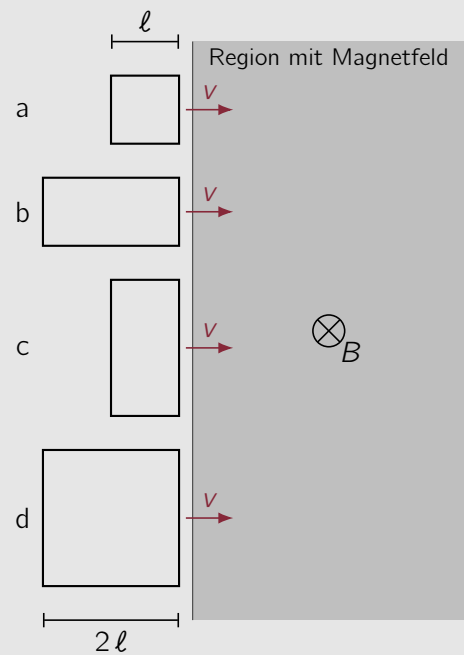
Korrekte Antwort:

**Aufgabe 2 Induktion in Leiterschleifen (MC-Aufgabe)**
**(5 Pkt.)**

Die vier in der Abbildung gezeigten Leiterschleifen (a bis d) besitzen jeweils Kantenlängen  $\ell$  oder  $2\ell$ . Sie bewegen sich mit konstanter Geschwindigkeit  $v$  in eine scharf begrenzte Region mit einem homogenen Magnetfeld der Flussdichte  $B$ , das in die Zeichenebene hinein orientiert ist.

Wie verhalten sich die direkt bei Eintritt in die Region mit dem Magnetfeld in den Schleifen induzierten Spannungen  $U_a$  bis  $U_d$  zueinander?

- A  $|U_a| = |U_b| = |U_c| = |U_d|$
- B  $|U_a| < |U_b| < |U_c| < |U_d|$
- C  $|U_a| = |U_b| < |U_c| = |U_d|$
- D  $|U_a| < |U_b| = |U_c| < |U_d|$


**Antwortteil**

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

**Aufgabe 3 Widerstandserwärmung (MC-Aufgabe)**
**(5 Pkt.)**

Zwei Widerstände gleicher Bauform werden parallel an eine Spannungsquelle mit einer Spannung von  $2,6\text{V}$  angeschlossen. Dabei fließt ein Gesamtstrom von  $310\text{mA}$ . Mit einer Infrarotkamera wird das nebenstehende Bild der Schaltung gemacht. Die Kamera kann nach einer Kalibrierung auch die Oberflächentemperaturen der beiden Widerstände ermitteln. Sie betragen  $33^\circ\text{C}$  und  $67^\circ\text{C}$ . Die Umgebungstemperatur ist dabei  $21^\circ\text{C}$ .

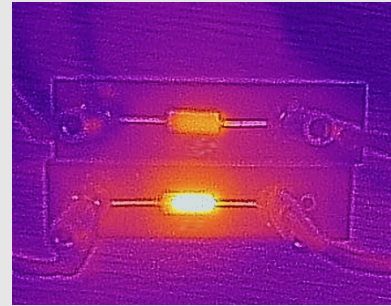


Abb. 1. Infrarotaufnahme der Widerstände.

Welche Werte besitzen die beiden Widerstände ungefähr?

- A  $1,7\ \Omega$  und  $6,7\ \Omega$       B  $12\ \Omega$  und  $30\ \Omega$       C  $10\ \Omega$  und  $45\ \Omega$       D  $20\ \Omega$  und  $80\ \Omega$

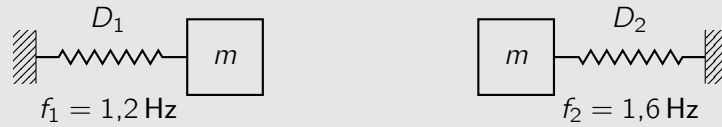
**Antwortteil**

Rechnungen und Erläuterungen

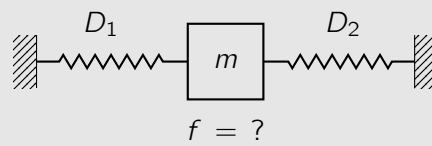
Korrekte Antwort:

**Aufgabe 4 Doppelpes Fedependel (MC-Aufgabe)**
**(5 Pkt.)**

In den beiden in der Abbildung gezeigten Fedependeln schwingt jeweils ein Körper der Masse  $m$  reibungsfrei. Die Federkonstanten  $D_1$  und  $D_2$  der beiden hookeschen Federn sind dabei jedoch unterschiedlich. Daher schwingen die Körper nach einer Auslenkung mit unterschiedlichen Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$ .



Wie groß ist die Schwingungsfrequenz (Eigenfrequenz) des unten gezeigten Systems, in dem die Federn gekoppelt sind?



A 1,4 Hz

B 2,0 Hz

C 2,4 Hz

D 2,8 Hz

**Antwortteil**

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

**Aufgabe 5 Gezeitenheizung (MC-Aufgabe)****(5 Pkt.)**

Obwohl eine dicke Eisschicht einen Großteil des auf den Saturnmond Enceladus einfallenden Sonnenlichtes reflektiert, konnte die Raumsonde Cassini auf seiner Oberfläche mehrere hundert Kilometer hohe Wasserfontänen fotografieren. Der Mond bezieht die dafür notwendige Energie aus Gezeitenkräften die ihn bei der Umwandlung in Reibungsarbeit aufheizen.

Betrachte einen Himmelskörper mit Radius  $r$ , der um einen Planeten mit Masse  $M_p$  auf einer Bahn mit großer Halbachse  $a$  und Exzentrizität  $e$  kreist. Die Exzentrizität ist dabei für geschlossene Bahnen ein Wert mit  $0 \leq e < 1$ , der angibt, wie stark die Bahn von einer Kreisbahn abweicht.

Die Heizleistung, die der Körper erfährt, lässt sich ausdrücken durch

$$P \approx \frac{21}{100} r^5 e^2 G^\alpha M_p^\beta a^\gamma.$$

Welche Werte haben die Exponenten  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\gamma$ ?

- A  $\alpha = -3/2$ ,  $\beta = 5/2$  und  $\gamma = -15/2$ .
- B  $\alpha = 3/2$ ,  $\beta = 5/2$  und  $\gamma = -15/2$ .
- C  $\alpha = 3/2$ ,  $\beta = -5/2$  und  $\gamma = 15/2$ .
- D  $\alpha = -3/2$ ,  $\beta = 5/2$  und  $\gamma = 15/2$ .

**Antwortteil**

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

**Aufgabe 6 Koaxialkabel (MC-Aufgabe)**
**(5 Pkt.)**

Ein Koaxialkabel besteht, wie nebenstehend im linken Querschnitt abgebildet, aus einem langen schmalen Zylinder mit spezifischem Widerstand  $\rho_1$  ummantelt von einem Hohlzylinder mit spezifischem Widerstand  $\rho_2 > \rho_1$ , Durch das Kabel fließt ein Strom der Stärke  $I$ .

Ein zweites, rechts abgebildetes Koaxialkabel sieht von außen aus wie das erste, besteht im Inneren aber nur aus einem Material. Der spezifische Widerstand dieses Materials ist  $\rho$  und die Stromstärke in dem zweiten Kabel beträgt ebenfalls  $I$ .

An wie vielen der gekennzeichneten Punkte  $A$ ,  $B$  und  $C$  unterscheiden sich die durch das jeweilige Kabel hervorgerufenen Magnetfelder?

A 0

B 1

C 2

D 3

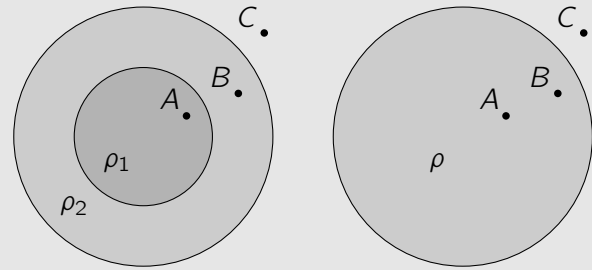


Abb. 2. Querschnitt des ersten (links) und zweiten (rechts) Koaxialkabels.

**Antwortteil**

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

**Aufgabe 7 Glasquader**
**(5 Pkt.)**

Ein in der Zeichenebene verlaufender Laserstrahl trifft von links unter dem Einfallswinkel  $\alpha = 30^\circ$  auf einen Glasquader (Brechungsindex  $n = 1,5$ ) mit den Seitenlängen  $a$  und  $4a$ . Wie in der nicht maßstabsgetreuen Skizze in Abbildung 3 angedeutet, trifft er im Glasquader schließlich genau auf die rechte untere Ecke.

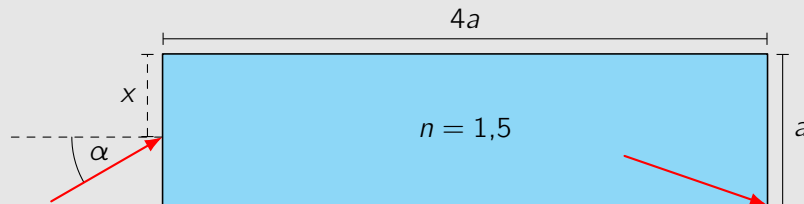


Abb. 3. Nicht maßstabsgetreue Skizze des Laserstrahls im Glasquader in der Seitenansicht.

Wie groß ist der Abstand  $x$  der Eintrittsstelle von der oberen Begrenzungsfläche des Quaders?

- A  $a \cdot (\sqrt{2} - 1)$       B  $a \cdot (2 - \sqrt{3})$       C  $a \cdot \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2}\right)$       D  $a \cdot \left(1 - \frac{\sqrt{3}}{3}\right)$

**Antwortteil**

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:



## Languaufgaben

Bearbeite die folgenden drei Aufgaben ebenfalls in den dafür vorgesehenen Boxen. Anders als bei den Multiple-Choice Aufgaben sind keine Lösungsmöglichkeiten gegeben. Beschreibe deinen Lösungsweg so, dass er gut nachvollziehbar aber nicht unnötig lang ist. Wenn du also zum Beispiel den Energieerhaltungssatz verwendest, schreibe dies kurz hin.

### Aufgabe 8 Laserentfernungsmesser

**(15 Pkt.)**

Für die Vermessung von Räumen kommen oft Laserentfernungsmesser zum Einsatz. Im Baumarkt erhältliche Laserentfernungsmesser können in der Regel Entfernungen im Bereich von wenigen Zentimetern bis zu etwa 50 m mit einer Genauigkeit von einigen Millimetern bestimmen. Zur Entfernungsmessung sendet das Gerät einen Laserstrahl aus und empfängt den von einem Objekt reflektierten Strahl.

- 8.a) Berechne die Laufzeit von Laserlicht bei einem Messabstand von 50,0 cm. Bestimme, wie genau diese Laufzeitmessung erfolgen müsste, um eine Messgenauigkeit von  $\pm 2$  mm zu erreichen. (4.0 Pkt.)

Eine solche hohe Zeitauflösung wird von üblichen Laserentfernungsmessern nicht erreicht. Stattdessen wird die Entfernung über die Phasenverschiebung des ausgesendeten und empfangenen Signals bestimmt. Dies ist für die folgenden Aufgaben jedoch nicht relevant.

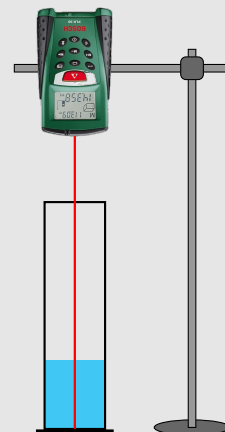
Die Genauigkeit der Messung wird allerdings auch davon beeinflusst, was sich auf dem Lichtweg befindet.

- 8.b) Du möchtest die Länge eines dünnwandigen, mit Wasser gefüllten Aquariums ausmessen. Erläutere qualitativ, warum eine Messung durch das Aquarium hindurch andere Werte ergibt als eine Messung mit einem Lineal. (2.0 Pkt.)

Dieser Effekt kann genutzt werden, um mit einem Laserentfernungsmesser den Brechungsindex eines transparenten Materials zu bestimmen.

In dem nebenstehend skizzierten Experiment wird mit einem fest montierten Laserentfernungsmesser der Abstand zum Boden eines teilweise mit einer Flüssigkeit gefüllten Glaszylinders gemessen. Die vom Laserentfernungsmesser angezeigten Messwerte des Abstandes für verschiedene Flüssigkeitsvolumina sind in der Tabelle unten dargestellt. Der Innendurchmesser des Glaszylinders beträgt 8,00 cm.

- 8.c) Bestimme mit Hilfe der Messreihe den Brechungsindex  $n$  der Flüssigkeit. Erstelle dazu einen geeigneten Graphen. (9.0 Pkt.)



Messwerte des vom Laserentfernungsmesser gemessenen Abstandes  $\ell$  als Funktion des in dem Zylinder befindlichen Flüssigkeitsvolumens  $V$

$V / L$	$\ell / m$	$V / L$	$\ell / m$
0,00	0,602	0,95	0,668
0,07	0,607	1,22	0,687
0,15	0,611	1,42	0,697
0,27	0,619	1,56	0,705
0,37	0,622	1,64	0,709
0,51	0,636	1,76	0,718
0,67	0,647	1,85	0,727
0,77	0,657	1,93	0,733

**Antwortteil**

8.a) Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Ergebnis für Laufzeit:

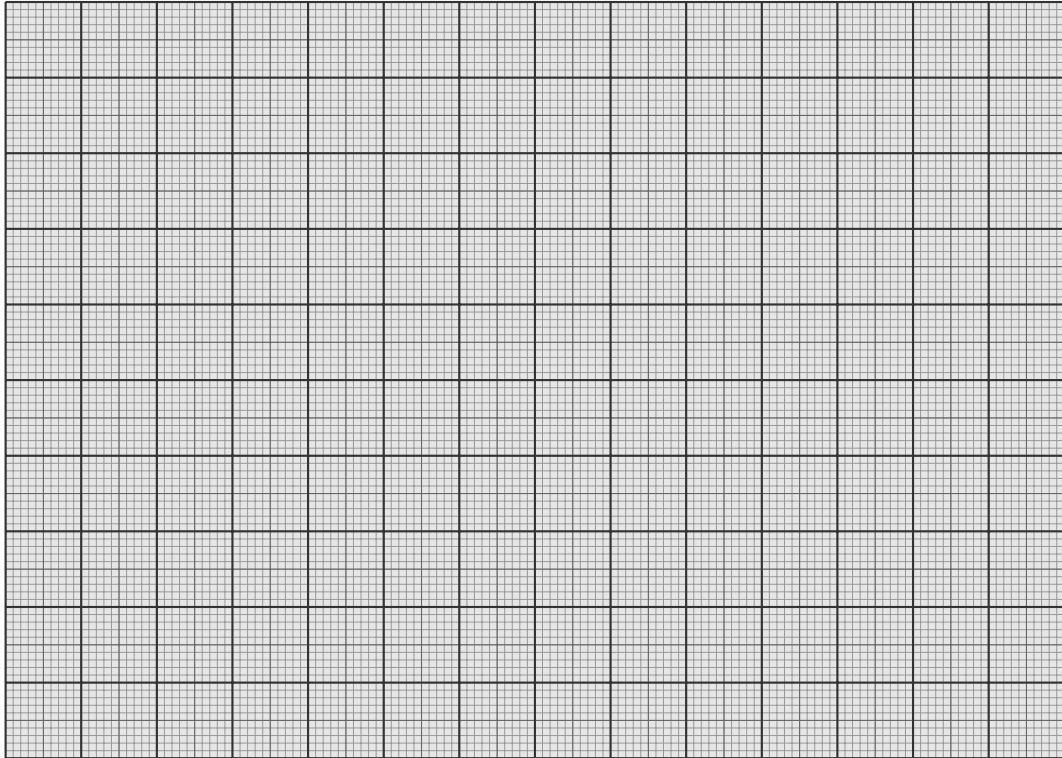
Ergebnis für Genauigkeit der Laufzeitmessung:

8.b)

Rechnungen und Erläuterungen

8.c)

Graph



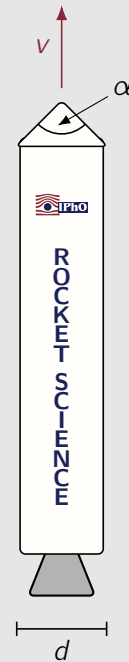
Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für Brechungsindex der Flüssigkeit:

**Aufgabe 9 Raketenstarts und Satelliten**
**(20 Pkt.)**

Die Zahl der Raketenstarts hat in den letzten Jahren stark zugenommen - 2021 gab es mehr als 140 Starts, die eine Erdumlaufbahn erreichen wollten. Während der Startphase sind die Raketen und deren Nutzlasten enormen Belastungen ausgesetzt. Dabei spielt die aerodynamische Belastung durch Reibung in der Atmosphäre eine wesentliche Rolle.

Betrachte als einfaches Modell eine Rakete mit einer kegelförmigen Spitze, die einen Durchmesser von  $d$  und einen Öffnungswinkel von  $\alpha$  an der Kegelspitze besitzt. Die Rakete fliegt mit einer Geschwindigkeit  $v$  durch die Atmosphäre, die in der momentanen Höhe eine Dichte von  $\rho_{\text{atm}}$  besitzt. Du kannst annehmen, dass die Bewegung der Luftmoleküle in der Atmosphäre verglichen mit der Raketengeschwindigkeit vernachlässigbar ist. Durch vereinfachend als elastisch betrachtete Stöße der Raketenspitze mit den Luftmolekülen erfährt die Rakete eine Reibungskraft.



- 9.a) Leite einen Ausdruck für die auf die Rakete wirkende Reibungskraft in Abhängigkeit von den Parametern  $d$ ,  $\alpha$ ,  $v$  und  $\rho_{\text{atm}}$  her. Bestimme die Größe der Reibungskraft für die Werte  $d = 3,7 \text{ m}$ ,  $\alpha = 90^\circ$ ,  $v = 2,0 \text{ km s}^{-1}$  und  $\rho_{\text{atm}} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-3}$ . (4.0 Pkt.)

Die auf eine Rakete wirkende Reibungskraft ändert sich während des Raketenfluges. Die folgenden Abbildungen zeigen die Geschwindigkeit einer Rakete nach dem Start in Abhängigkeit von der Flughöhe (links) sowie den Atmosphärendruck in Abhängigkeit von der Höhe über dem Erdboden (rechts). Es wird vereinfachend angenommen, dass die Temperatur der Atmosphäre konstant ist.

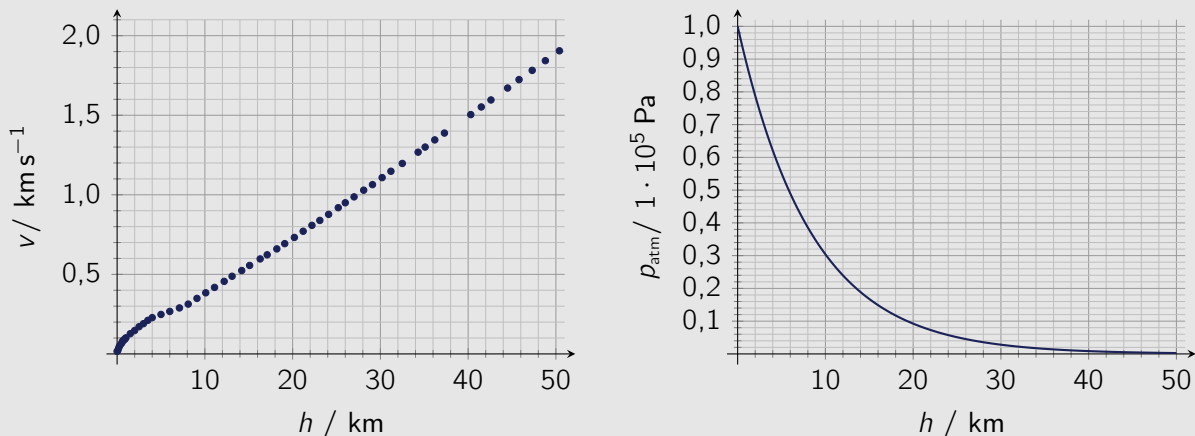


Abb. 4. Geschwindigkeit  $v$  der Rakete (links) sowie Luftdruck  $p_{\text{atm}}$  der Atmosphäre (rechts) in Abhängigkeit von der Höhe  $h$  über dem Erdboden.

- 9.b) Schätze mithilfe der Daten aus den Graphen die Höhe über dem Erdboden ab, bei der die Reibungskraft auf die Rakete maximal ist. (6.0 Pkt.)

Dieser bei einem Start kritische Punkt wird Max Q genannt und bezeichnet den Ort und Zeitpunkt größter aerodynamischer Belastung der Rakete.

Um Satelliten in eine Erdumlaufbahn zu bringen, muss die Rakete weiter beschleunigen. Bezeichne mit  $m_E = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$  die Masse der Erde und mit  $R_E = 6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$  den Erdradius.

9.c) Bestimme die Geschwindigkeit, auf die die Rakete vor Ausschalten der Triebwerke beschleunigen muss, um in einer erdnahen Umlaufbahn außerhalb der Atmosphäre die Erde umkreisen zu können, ohne auf die Erde zu stürzen. Gib auch die Umlaufzeit auf der Bahn an. (3.0 Pkt.)

9.d) Bestimme ebenfalls die Geschwindigkeit, auf die die Rakete vor Ausschalten der Triebwerke mindestens beschleunigen muss, um dem Einfluss der Erde vollständig zu entkommen. Gib das Verhältnis dieser Geschwindigkeit zu der im vorigen Aufgabenteil bestimmten an. (3.0 Pkt.)

Nimm nun an, dass ein Satellit die Sonne auf einer Bahn umkreist, deren Radius dem mittleren Erdbahnradius um die Sonne von etwa  $1,5 \cdot 10^{11}$  m entspricht. Der Satellit sei weit weg von der Erde und allen anderen Himmelskörpern. Die Masse der Sonne beträgt etwa  $m_s = 1,99 \cdot 10^{30}$  kg und der Radius der Sonne kann als sehr klein im Vergleich zum Erdbahnradius angenommen werden. Plötzlich stoppt der Satellit relativ zur Sonne vollständig ab.

9.e) Schätze ab, wie lange es dauert, bis der Satellit in die Sonne stürzt. Je nach Lösungsansatz können die Keplerschen Gesetze dafür hilfreich sein. (4.0 Pkt.)

### Antwortteil

9.a) Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

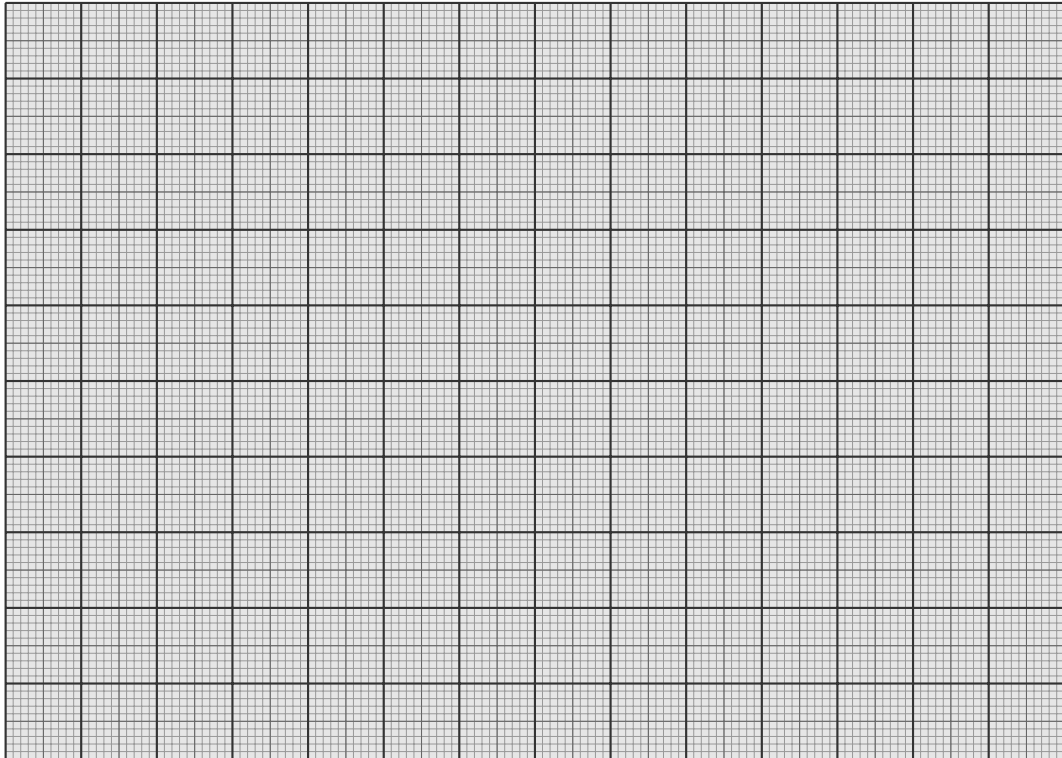
Ausdruck für die Reibungskraft:

Wert der Reibungskraft:

9.b)

Rechnungen und Erläuterungen

Graph



Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Ergebnis für Höhe bei maximaler Reibung:



9.c)

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für Geschwindigkeit und Umlaufzeit:

9.d)

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für Geschwindigkeit und Geschwindigkeitsverhältnis:

9.e)

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für Zeit:

**Aufgabe 10 Goethebarometer**
**(15 Pkt.)**

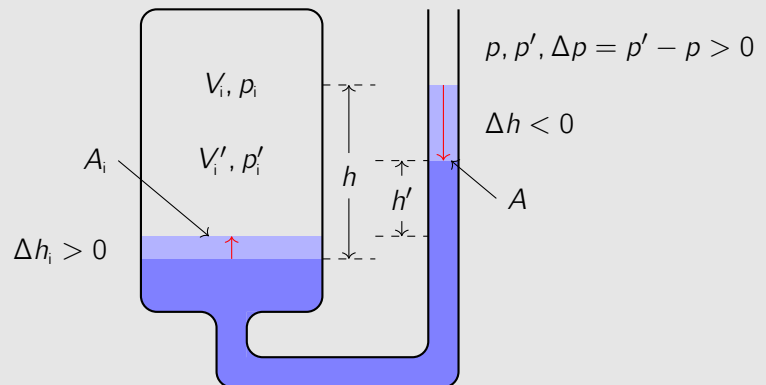
Mit einem Goethebarometer lassen sich Luftdruckänderungen messen. Es besteht aus einem oben geschlossenen Gefäß, das im oberen Teil mit Luft und im unteren Teil mit Wasser gefüllt ist. Dieser untere Teil ist über ein senkrechtes und nach oben offenes Steigrohr mit der Atmosphäre verbunden. Durch Änderungen des äußeren Luftdrucks sinkt bzw. steigt der Wasserspiegel im „Schnabel“ des Barometers. Bei konstanter Umgebungstemperatur ist die Luftdruckänderung  $\Delta p$  alleinige Ursache einer Wasserspiegeländerung  $\Delta h$  im Steigrohr.

Betrachte ein einfaches Goethebarometer, wie in der Skizze gezeigt. Die Querschnittsflächen des Steigrohres und des Gefäßes betragen  $A = 0,30 \text{ cm}^2$  bzw.  $A_i = 20 \text{ cm}^2$ . Bei einem Luftdruck von  $p = 1000 \text{ hPa}$  beträgt die Differenz zwischen den Wasserspiegeln im Steigrohr sowie dem Gefäß  $h = 3,0 \text{ cm}$ , und das im Gefäß bei dem Druck  $p$  eingeschlossene Luftvolumen ist  $V_i = 100 \text{ cm}^3$ . Der Dampfdruck des Wassers soll dabei nicht berücksichtigt werden.

Wenn sich der Luftdruck um  $\Delta p$  erhöht, sinkt der Wasserspiegel im Steigrohr. Bezeichne mit  $p'$ ,  $V_i'$ ,  $\rho_i'$  und  $h'$  die sich bei dem geänderten Luftdruck einstellenden Größen entsprechend der Abbildung.



(a) Foto eines Goethebarometers, CC BY-SA 3.0)



(b) Einfaches Goethebarometer mit konstanten Querschnitten. Die roten Pfeile deuten die Verschiebung bei Druckerhöhung an.

Abb. 5. Wetterglas oder Goethebarometer

- 10.a) Leite einen Zusammenhang zwischen der Luftdruckänderung  $\Delta p$  und der zugehörigen Wasserspiegeländerung  $\Delta h$  im Steigrohr her. Berechne den Wert der Luftdruckänderung, wenn der Wasserspiegel im Steigrohr um  $1,0 \text{ cm}$  sinkt. Verwende dabei für die Dichte von Wasser  $\rho = 1,00 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$  und für die Fallbeschleunigung  $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$ . (11.0 Pkt.)
- 10.b) Bestimme näherungsweise, wie groß die Wasserspiegeländerung im Steigrohr bei der gleichen Druckänderung bei einem im Maßstab 1:2 verkleinerten Goethebarometer wäre. (4.0 Pkt.)

Hinweis: Du kannst für  $x \ll 1$  die Näherung  $(1 - x)^n \approx 1 - nx$  verwenden.

**Antwortteil**

10.a)

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Zusammenhang zwischen Luftdruckänderung und zugehöriger Wasserspiegeländerung:

Wert der Luftdruckänderung:

10.b)

Rechnungen und Erläuterungen

Wasserspiegeländerung im Steigrohr bei verkleinertem Goethebarometer:

**Zusätzliches Arbeitspapier**

**Zusätzliches Arbeitspapier**

**Zusätzliches Arbeitspapier**

**Millimeterpapier**

