

Aufgaben

zur

Ph y s i k

für die außerunterrichtliche Tätigkeit

von

Dr.Manfred Wurlitzer und Dr.Hans-Christoph Semmelhack

Sektion Physik der Karl-Marx-Universität

3.Heft 1984: Klassenstufen 9 und 10

### Vorbemerkungen

Im dritten Heft dieser Zusammenstellung von Aufgaben wenden wir uns vorwiegend an Schüler, die bereits im selbständigen Lösen der Aufgaben geübt sind und die ein höheres Niveau anstreben. Eine Überschreitung des in der Schule vorgesehenen Lehrstoffs ist dann unvermeidlich, entspricht aber erst recht den Zielen außerunterrichtlicher Tätigkeit. Damit nähern wir uns in den Anforderungen den nationalen Leistungsvergleichen (Güstrower Physikwettbewerbe). Trotzdem haben wir uns bemüht, reines Faktenwissen sowie mathematische Kenntnisse, die erst in den Klassen 11 und 12 vermittelt werden, zu vermeiden. Für eine gute Vorbereitung auf Wettbewerbe kommt es uns mehr auf die Aneignung typischer Methoden an und auf die genaue Kenntnis der Grenzen ihrer Anwendbarkeit. Selbstverständlich dürfte es sein, daß alle Aufgaben eine empfehlenswerte Übung auch für Schüler der Klassen 11 und 12 darstellen. Einige Aufgaben können mit dem Schulwissen nicht gelöst werden. Sie wurden mit Absicht eingefügt, um den Schüler in die Lage zu setzen, sich selbst Wissen zu erwerben und anzuwenden. Dies sind jedoch Aufgaben aus Teilgebieten der Physik, die bei internationalen Physikwettbewerben als bekannt vorausgesetzt werden.

Die Aufgaben wurden in vier Teile gegliedert. Jeder Teil enthält Aufgaben zu den Teilgebieten: Mechanik, Wärmelehre, Elektrizitätslehre und Optik. Jeder Teil entspricht einer vierstündigen Klausur. Wer wirklich am selbständigen Arbeiten interessiert ist, sollte zuerst versuchen, ohne die Lösungen auszukommen und bei auftretenden prinzipiellen Schwierigkeiten zuerst die Hinweise auf den letzten Seiten beachten.

Wenn ein Schüler die in diesem Heft vorgestellten Aufgaben bewältigen konnte, kann er sich getrost an das Studium von Aufgaben wagen, die bei früheren Internationalen Physikolympiaden gestellt worden sind. Wir empfehlen dazu die entsprechenden Publikationen, z.B. J.Wendt, U.Walta und U.Lau: "IPhO-Übungsaufgaben" Heft 1, 1982 und J.Lehmann: "IPO, Aufgaben und Lösungen der I. bis VII. Internationalen Physikolympiade", 1975.

In der nächsten Zeit werden wir auf diesem Weg noch weiteres Material den interessierten Schülern der Klassen 11 und 12 zur Verfügung stellen. Mai 1984 Die Autoren

1. Teil: 4 Aufgaben aus der Mechanik, Thermodynamik, Elektrizitätslehre und Optik

1.1. Ein Schwungrad hängt an zwei Fäden, die an der Achse befestigt sind (Abbildung 1, Stellung 1). Dreht man das Rad, so wickeln sich die Fäden auf der Achse auf, und das Rad wird um die Höhe  $h_0$  gehoben. Anschließend wird das Rad losgelassen.

1.1.1. Wie groß sind die Geschwindigkeit  $v_M$  und die Beschleunigung  $a_M$  des Radmittelpunktes in beliebiger Höhe  $h < h_0$ ?

1.1.2. Es soll das Zeitdiagramm für  $v_M$  und für die Frequenz  $f$ , mit der sich das Rad dreht, gezeichnet werden, aus dem hervorgeht, wie sich das Rad für alle Zeiten bewegt.

Vorausgesetzt wird, daß sich die gesamte Masse  $m$  des Rades auf der Peripherie befindet (Durchmesser  $d_2$ ) und daß keine Reibungsverluste auftreten.

$$h_0 = 10 \text{ m}, \quad d_1 = 1 \text{ cm}, \quad d_2 = 1 \text{ m}$$

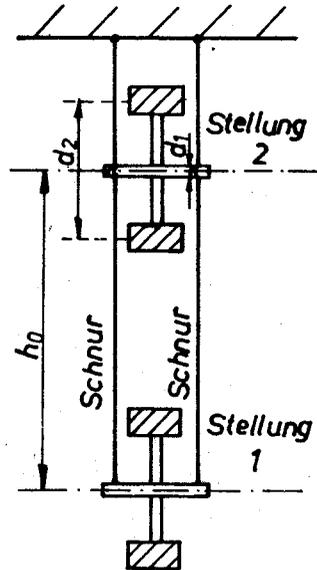


Abbildung 1

1.2. Ein Topf mit siedendem Wasser vom Volumen  $V = 1 \text{ l}$  und der Temperatur  $\vartheta_1 = 100^\circ\text{C}$  steht auf einer ebenen Platte der Temperatur  $\vartheta_2 = 300^\circ\text{C}$ . Der Boden des Topfes besteht aus Aluminium der Stärke  $d_1 = 1 \text{ mm}$  mit der Wärmeleitkonstanten  $\lambda_1 = 200 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  und dem Durchmesser  $d = 15 \text{ cm}$ .

1.2.1. Wie lange dauert es, bis alles Wasser verdampft ist, wenn die untere Topffläche ideal (d.h. ohne Zwischenräume) auf der Platte aufliegt?

1.2.2. Wie lange dauert es, bis alles Wasser verdampft ist, wenn die Wärmeübertragung durch Wärmeleitung über eine durchgehende Luftschicht der Dicke  $d_2 = 0,1 \text{ mm}$  mit  $\lambda_2 = 2,3 \cdot 10^{-2} \text{ W/m}\cdot\text{K}$  erfolgt?

1.3. Ein Kettenspannungsteiler (Abbildung 2) soll in beliebig vielen Stufen eine Teilung der Eingangsspannung  $U_0$  ermöglichen. Die Ausgangsspannung  $U_k$  kann wahlweise zwischen den Kontakten  $Q$  und  $0$ ,  $Q$  und  $1, \dots, Q$  und  $K, \dots, Q$  und  $n$  abgegriffen werden ( $k = 0, 1, 2, \dots, n$ ).

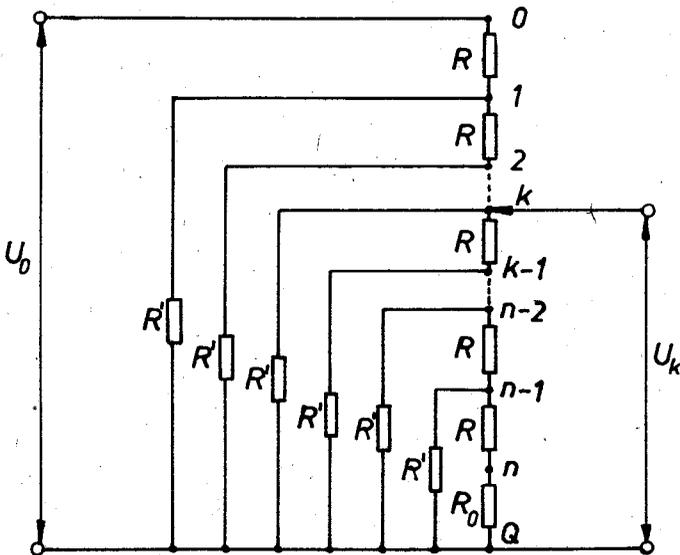


Abbildung 2

1.3.1. Die Widerstände  $R$  und  $R'$  sind bei gegebenem Widerstand  $R_0 = 100 \text{ k}\Omega$  zu berechnen. Dabei müssen folgende Bedingungen eingehalten werden:

- Bei jeder Umschaltung ( $k-1 \rightarrow k$ ) ändert sich die Ausgangsspannung, bezogen auf  $U_0$ , um 10 dB.
- Der Teilwiderstand zwischen einem beliebigen Anschluß  $k$  und dem Punkt  $Q$  (dabei sollen alle Widerstände oberhalb  $K$  nicht berücksichtigt werden) ist stets der gleiche, unabhängig von der Schalterstellung.

1.3.2. Wie groß ist der Gesamtwiderstand  $R_{\text{ges}}$ , mit dem die Spannungsquelle ( $U_0$ ) belastet wird?

1.3.3. Mit welchem Widerstand wird ein zwischen den Kontakten K und Q angeschlossener Spannungsgeber belastet, wenn der Eingang des Spannungsteilers (OQ) kurzgeschlossen wird?

1.4. In einer Richtung von  $30^\circ$  gegen die Horizontale sieht ein Beobachter einen Gegenstand in einer Entfernung  $d = 5$  m unter Wasser. Der Kopf des Beobachters ist  $h = 2$  m über der Wasseroberfläche.

1.4.1. In welcher Tiefe erscheint dem Beobachter der Gegenstand unter Wasser?

1.4.2. Wie weit befindet sich der Gegenstand tatsächlich unterhalb der Wasseroberfläche? (Brechungsindex des Wassers  $n = 1,33$ )

#### 1.1. Lösung

1.1.1. Da keine Reibungsverluste auftreten, gilt der Satz von der Erhaltung der Energie in der Form

$$E_p + E_k = E \text{ (Gesamtenergie)}$$

$E$  ist konstant und

$$E_p = m g h.$$

Die kinetische Energie  $E_k$  setzt sich aus der Parallelverschiebung der Teilchen in vertikaler Richtung, d.h. der Geschwindigkeit des Mittelpunktes  $v_M$  und einer Drehung der Teilchen auf der Peripherie um den Mittelpunkt mit der Radialgeschwindigkeit  $v_P$  zusammen

$$E_k = \frac{m}{2} v_M^2 + \frac{m}{2} v_P^2.$$

Im Moment des Loslassens ist  $h = h_0$ ,  $v_M = v_P = 0$ , also

$$E = m g h_0,$$

später, in beliebiger Höhe, teilt sich diese Gesamtenergie auf

$$m g h_0 = m g h + \frac{m}{2} v_M^2 + \frac{m}{2} v_P^2,$$

damit

$$g(h_0 - h) = \frac{1}{2}(v_M^2 + v_P^2).$$

Der Mittelpunkt bewegt sich mit einer Geschwindigkeit, die gleich der Umlaufgeschwindigkeit auf der Welle ist

$$\omega = \frac{v_M}{r_1} = \frac{v_P}{r_2} \quad \text{bzw.} \quad \frac{v_M}{d_1} = \frac{v_P}{d_2}$$

Diese Beziehung gestattet eine Eliminierung von  $v_P$

$$2 g (h_0 - h) = v_M^2 (1 + d_2^2/d_1^2) \quad \text{und}$$

$$v_M = \sqrt{\frac{2 g (h_0 - h)}{1 + d_2^2/d_1^2}} .$$

Für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung gilt

$$v = \sqrt{2 a s} ,$$

wenn  $a$  die Beschleunigung und  $s$  die zurückgelegte Wegstrecke bezeichnet. Ein Vergleich mit der abgeleiteten Formel ergibt

$$a_M = \frac{g}{1 + d_2^2/d_1^2} = \text{const.},$$

d.h., die Bewegung des Mittelpunktes ist gleichmäßig beschleunigt.

1.1.2. Auch alle weiteren Formeln für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung gelten.  $v_M$  wird positiv genommen für die Abwärtsbewegung. Dann ist

$$v_M = a_M t \quad \text{abwärts, wenn } t < t_s$$

$$v_M = -v_{M \max} + a_M (t - t_s) = -2 v_{M \max} + a_M t$$

aufwärts, wenn  $t > t_s$ .

$v_{M \max}$  ist die Geschwindigkeit, wenn der Faden ganz abgewickelt ist ( $h = 0$ ),  $t_s$  ist die dazugehörige Zeit.

$$v_{M \max} = \sqrt{\frac{2 g h_0}{1 + d_2^2/d_1^2}} ; \quad t_s = \frac{v_{M \max}}{a_M} = \sqrt{\frac{2 h_0}{g} (1 + d_2^2/d_1^2)}$$

Für die Frequenz folgt

$$f = \frac{|v_M|}{\pi d_1} = \begin{cases} \frac{a_M}{\pi d_1} t & \text{für } t < t_s \\ \frac{2 v_{M \max}}{\pi d_1} t_s - \frac{a_M}{\pi d_1} t & \text{für } t > t_s. \end{cases}$$

$$f_{\max} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{2 h_0 g}{d_1^2 + d_2^2}}$$

Damit sind die Geradengleichungen für die Diagramme aufgestellt (Abbildung 3).

$$t_s = \sqrt{\frac{2 \cdot 10 \text{ m}}{9,8 \text{ m/s}^2} \left( 1 + \frac{1 \text{ m}^2}{10^{-4} \text{ m}^2} \right)} = 143 \text{ s}$$

$$v_{M \text{ max}} \approx \sqrt{\frac{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 10 \text{ m}}{10^4}} = 0,14 \text{ m/s}$$

$$f_{\text{max}} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{2 \cdot 10 \text{ m} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2}{1 \text{ m}^2 + 10^{-4} \text{ m}^2}} = 4,46 \text{ Hz}$$

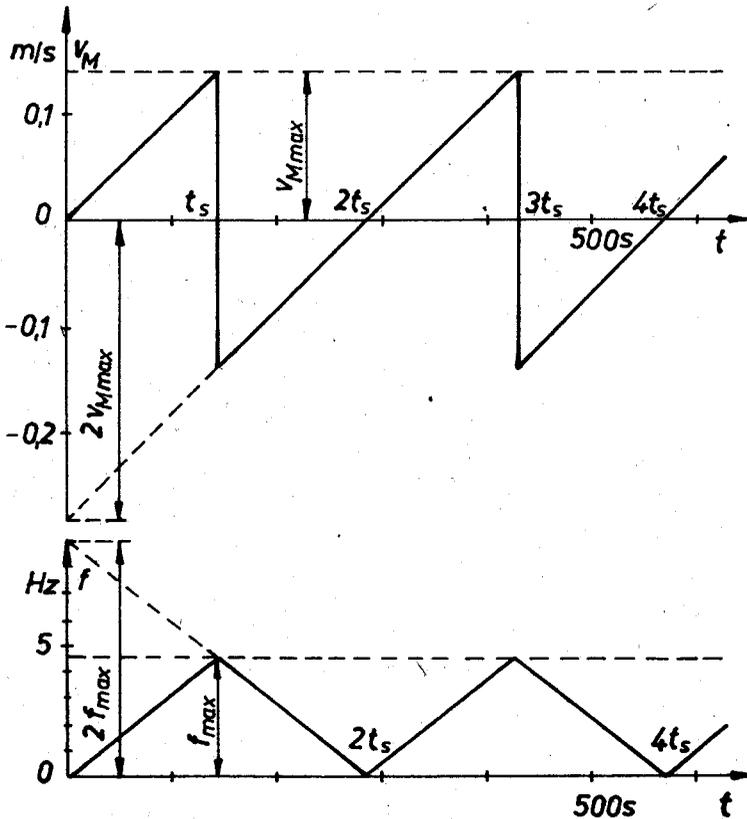


Abbildung 3

## 1.2. Lösung

1.2.1. Die Wärmeenergie gelangt durch Wärmeleitung durch den Topfboden hindurch. Dabei ist die je Sekunde übergehende Wärmemenge der Temperaturdifferenz zwischen Ober- und Unterseite des Bodens  $T_2 - T_1$  und der Bodenfläche  $A$  proportional, der Dicke des Bodens umgekehrt proportional.

$$\frac{Q}{t_1} = \lambda_1 \cdot A \cdot \frac{T_2 - T_1}{d_1} \quad , \text{ somit}$$

$$t_1 = \frac{Q d_1}{\lambda_1 A (T_2 - T_1)} \quad ,$$

mit  $A = \pi r^2$ .

$Q$  erhält man aus der Masse des Wassers und der spezifischen Verdampfungswärme  $q_v$ .

$Q = m q_v$  , damit folgt

$$t_1 = \frac{m q_v d_1}{\lambda_1 A (T_2 - T_1)} = \frac{1 \text{ kg} \cdot 2,25 \cdot 10^6 \text{ Ws/kg} \cdot 10^{-3} \text{ m}}{200 \text{ W/m} \cdot \text{K} \cdot \pi \cdot 7,5^2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 200 \text{ K}}$$

$$= 3,2 \text{ s}$$

1.2.2. Durch die Luftschicht gilt analog

$$\frac{Q}{t_2} = \lambda_2 \cdot A \frac{\Delta T}{d_2} \quad .$$

Da das Aluminium sehr viel besser die Wärme leitet als die darunter befindliche Luftschicht, wird  $T_1$  als Temperatur am oberen Ende der Luftschicht angenommen, somit

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad \text{gesetzt.}$$

Man erhält

$$t_2 = \frac{1 \text{ kg} \cdot 2,25 \cdot 10^6 \text{ Ws/kg} \cdot 10^{-4} \text{ m}}{2,3 \cdot 10^{-2} \text{ W/m} \cdot \text{K} \cdot \pi \cdot 7,5^2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 200 \text{ K}}$$

$$= 2,77 \cdot 10^3 \text{ s} = 46 \text{ min}$$

## 1.3. Lösung

1.3.1. Wenn die Dämpfung  $D$  in dB angegeben ist, gilt nach Definition die Beziehung

$$D = 10 \cdot \lg \frac{U_{k-1}^2}{U_k^2} = 20 \lg \frac{U_{k-1}}{U_k} \quad , \text{ daher}$$

$$\frac{U_{k-1}}{U_k} = 10^{D/20} = \sqrt[10]{10^7} = 3,16$$

Dieses Verhältnis soll zunächst mit  $d$  bezeichnet werden. Schaltet man von  $n-1$  auf  $n$ , so wird die Spannung im Verhältnis

$$(R + R_0) : R_0$$

geteilt.

$$d = 1 + R/R_0, \text{ also}$$

$$R = (d - 1) R_0$$

$$R = 216 \text{ k}\Omega$$

Beim Umschalten darf sich der Teilwiderstand nicht ändern, dieser muß immer  $R_0$  sein

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R'} + \frac{1}{R + R_0}, \text{ also}$$

$$R' = \frac{R_0(R + R_0)}{R + R_0 - R_0} = R_0 \left(1 + \frac{R_0}{R}\right)$$

$$= R_0 \left(1 + \frac{1}{d-1}\right)$$

$$R' = 100 \text{ k}\Omega \left(1 + \frac{1}{2,16}\right) = 146 \text{ k}\Omega$$

1.3.2. Nach Voraussetzung ist der Widerstand zwischen 1 und Q ebenfalls  $R_0$ , so daß der gesamte Belastungswiderstand der Spannungsquelle

$$R_{\text{ges}} = R_0 + R = 100 \text{ k}\Omega + 216 \text{ k}\Omega = 316 \text{ k}\Omega$$

1.3.3. Der Gesamtwiderstand ist  $R_{\text{ges}}$ , der eine Teilwiderstand ist immer  $R_0$ , somit muß der zweite Teilwiderstand stets  $R$  sein. Bei Kurzschließen von  $U_0$  wird die Parallelschaltung von  $R_0, R$  wirksam, dann ist

$$R_{\text{kQ}} = \frac{R R_0}{R + R_0} = \frac{216 \text{ k}\Omega \cdot 100 \text{ k}\Omega}{316 \text{ k}\Omega} = 68,4 \text{ k}\Omega$$

#### 1.4. Lösung

1.4.1. Der Beobachter sieht das Bild B des Gegenstandes G in einer Entfernung  $d$  (Abbildung 4). Man liest die trigonometrische Beziehung ab

$$h + s' = d \cdot \sin \alpha = d/2$$

$s'$  ist die scheinbare Tiefe, in der G erscheint.

$$s' = d/2 - h = \frac{5 \text{ m}}{2} - 2 \text{ m} = 0,5 \text{ m}$$

1.4.2. Der von G ausgehende Lichtstrahl, der A trifft, verläuft nach der Brechung an der Oberfläche in Richtung CA. Vor der Brechung an der Oberfläche (in Wasser) verläuft er mit einem kleineren Winkel  $\varphi_2$  gegen das Lot in C, also muß G tiefer als B liegen. Daß B und G auf dem gemeinsamen Lot in D liegen, ist selbstverständlich, da der Strahl GD beim Übergang in Luft nicht gebrochen wird. Für die Brechung in C sind die Winkel  $\varphi_1, \varphi_2$  maßgebend

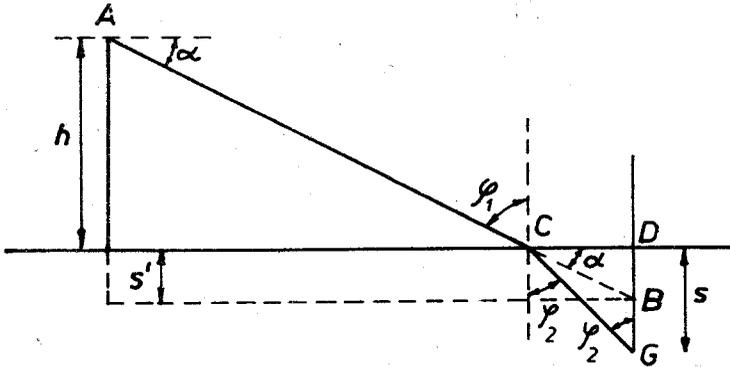
$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = n .$$

Weiter kann abgelesen werden

$$\varphi_1 = 90^\circ - \alpha$$

$$\frac{\overline{CD}}{\overline{CD}} = s' \cot \alpha$$

$$\frac{\overline{CD}}{\overline{CD}} = s \tan \varphi_2 \quad (s \text{ ist die wirkliche Eintauchtiefe von G})$$



$$\overline{AB} = d, \quad \sin \alpha = 1/2$$

Abbildung 4

Durch Division der beiden Gleichungen folgt

$$s = s' \frac{\cot \alpha}{\tan \varphi_2} = s' \frac{\cot \alpha \sqrt{1 - \sin^2 \varphi_2}}{\sin \varphi_2}$$

Substitution von  $\sin \varphi_2$  mit Hilfe des Brechungsgesetzes ergibt

$$s = s' \frac{\sqrt{n^2 - \cos^2 \alpha}}{\sin \alpha} = 1,01 \text{ m (da } n = 1,33).$$

2. Teil: 4 Aufgaben aus der Mechanik, Thermodynamik, Elektrizitätslehre und Optik.

2.1. Eine Masse  $m$  hängt im Punkt A an einem Faden der Länge  $l$  in Ruhelage (Abbildung 5). Die Masse wird zuerst in die Stellung B gebracht und in eine Richtung senkrecht zur Zeichenebene angestoßen. Die Masse führt eine Kreisbewegung aus, wenn die Geschwindigkeit, die ihr durch den Stoß erteilt wurde, einen bestimmten Betrag hat.

2.1.1. Wie groß muß für diesen speziellen Fall die Geschwindigkeit sein und welche Umlaufzeit  $T$  stellt sich dann ein?

2.1.2. Wie groß ist dann die Kraft  $F_g$ , mit der der Faden gespannt wird?

Gegeben sind der Auslenkungswinkel des Fadens  $\alpha = 30^\circ$ ,  $m = 1 \text{ kg}$  und  $l = 1 \text{ m}$ .

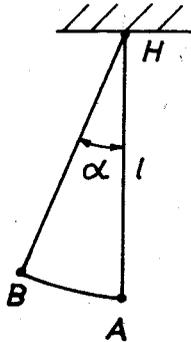


Abbildung 5

2.2. Luft von  $20^\circ\text{C}$  strömt durch ein Rohr mit einem Durchmesser von 20 cm in eine Oxydationskammer, wo der Sauerstoff vollständig gebunden wird. Das restliche, heiße Gas verläßt die Kammer durch ein zweites Rohr von 30 cm Durchmesser mit  $1000^\circ\text{C}$ . Verbraucht werden je Minute 10 kg Sauerstoff.

Mit welcher Geschwindigkeit tritt die Luft in das erste Rohr ein und das Restgas aus dem zweiten aus?

Dichte der Luft bei  $0^\circ\text{C}$ :  $\rho_L = 1,29 \text{ kg/m}^3$

Dichte des Sauerstoffs bei  $0^\circ\text{C}$ :  $\rho_{O_2} = 1,43 \text{ kg/m}^3$

Zusammensetzung der Luft: 21% des Volumens Sauerstoff  
79% des Volumens Restgas

Vorausgesetzt wird ein konstanter Druck, der auch den Dichteangaben zugrunde liegt.

2.3. Elektronen gelangen mit unbekannter Geschwindigkeit auf eine als Gitter ausgebildete Anode A und von dort in ein räumlich konstantes und gleichgerichtetes Feld, das durch eine Spannung  $U_G$  erzeugt wird und das so gerichtet ist, daß es die Bewegung der Teilchen hemmt (Abbildung 6). Das Instrument zeigt bei  $U_G = 1$  kV die Stromstärke  $I = 5 \mu\text{A}$  an.

2.3.1. Wie viele Teilchen treffen in diesem Fall je Sekunde auf die Gegenkatode?

2.3.2. Beim Vergrößern der Gegenspannung auf den Betrag  $U_G = U_0 = 2$  kV wird der Strom Null, für alle Spannungen  $U_G < U_0$  ist er nicht Null. Mit welcher Geschwindigkeit  $v_0$  durchlaufen die Elektronen die Anode?

Ladung des Elektrons  $Q_e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{C}$ , Masse des Elektrons  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{kg}$

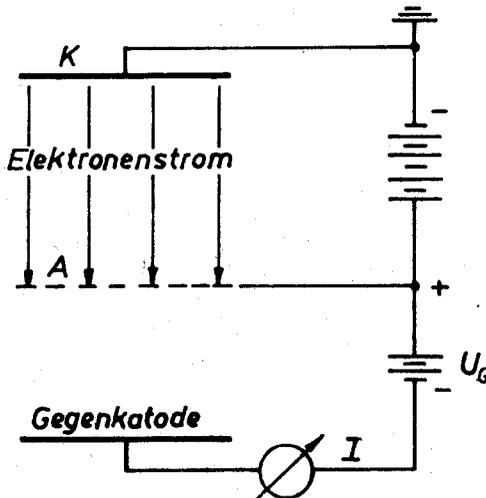


Abbildung 6

2.4. Eine durchsichtige Halbkugel K mit der Brechzahl  $n = 1,4$  wird von parallelem Licht in Richtung der Achse getroffen (Abbildung 7). Nach der Brechung vereinigen sich aber nur Strahlen, die im gleichen Abstand  $a$  von der Achse auf K treffen, in einem Punkt A. Maximaler und minimaler Abstand  $\overline{AC}$  des Punktes A von der Halbkugel sind zu bestimmen, wenn  $a$  als veränderlich aufgefaßt wird.

Für kleine Einfallswinkel  $\alpha$  sind die Näherungen

$$\sin \alpha \approx \alpha \text{ und}$$

$$\cos \alpha \approx 1$$

zu benutzen ( $\alpha$  in rad).

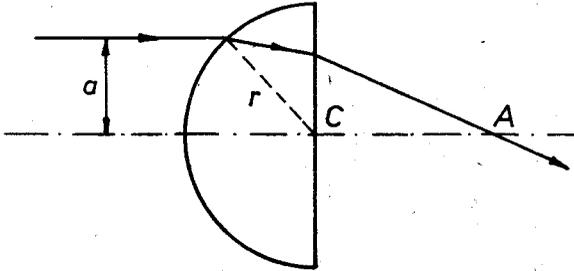


Abbildung 7

### 2.1. Lösung

Die Masse führt eine Kreisbewegung in einer horizontalen Ebene aus. Da bei dieser Bewegung die potentielle Energie konstant ist, muß auch die kinetische Energie konstant sein, d.h., die Geschwindigkeit ist dem Betrage nach konstant. Es handelt sich also um eine gleichförmige Kreisbewegung. Die resultierende Gesamtkraft auf die Masse ist daher eine dem Betrag nach konstante Kraft, die auf den Kreismittelpunkt gerichtet ist (Zentripetalkraft). Als äußere Kräfte wirken auf die Masse die Gewichtskraft  $m \cdot g$  und die Kraft  $F_g$ , mit der der Faden in Richtung auf H zieht. Das Zusammenwirken beider Kräfte muß die Zentripetalkraft  $F_z$  ergeben.

2.1.2. Aus Abbildung 8 ist zu entnehmen

$$F_s = \frac{m g}{\cos \alpha} = \frac{1 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2}{1/2 \cdot \sqrt{3}} = 11,3 \text{ N}$$

2.1.1. Für  $F_z$  gilt (Tafelwerk)

mit  $\overline{BC} = \rho$

$$F_z = m \rho \omega^2.$$

Weiter zeigt Abbildung 8

$$\rho = l \sin \alpha$$

$$F_z = m g \tan \alpha$$

Durch Gleichsetzen der Ausdrücke für  $F_z$  erhält man

$$\begin{aligned} \omega^2 &= \frac{g}{l} \frac{1}{\cos \alpha} \\ &= \frac{4 \pi^2}{T^2} \end{aligned}$$

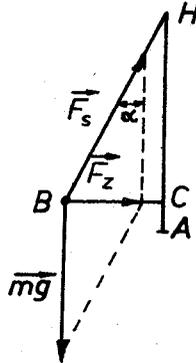
und

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g} \cos \alpha}$$

Abbildung 8

$$= 2\pi \sqrt{\frac{1 \text{ m}}{9,8 \text{ m/s}^2} \cdot \frac{1}{2} \sqrt{3}} = 1,87 \text{ s}$$

$$\begin{aligned} v &= \omega \rho = \sqrt{g l} \frac{\sin^2 \alpha}{\cos \alpha} \\ &= \sqrt{9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 1 \text{ m} \frac{1/4}{1/2 \cdot \sqrt{3}}} = 1,68 \text{ m/s} \end{aligned}$$



## 2.2. Lösung

Zunächst berechnet man die benötigte Masse an Luft je Sekunde.

$m_{O_2}$  sei die benötigte Sauerstoffmenge,  $m_L$  die entsprechende Luftmenge.

$$m_{O_2} = \rho_{O_2} \cdot v_{O_2}$$

$$m_L = \rho_L \cdot v_L$$

Dann ist das Verhältnis

$$\begin{aligned} \frac{m_{O_2}}{m_L} &= \frac{\rho_{O_2}}{\rho_L} \cdot \frac{v_{O_2}}{v_L} = \frac{1,43}{1,29} \cdot 0,21 \\ &= 0,233 \text{ (23,3 \% Gewicht)} \end{aligned}$$

Der Verbrauch an Luft ist dann

$$\frac{m_L}{t} = \frac{10 \text{ kg/min}}{0,233} = 42,9 \text{ kg/min} = 0,715 \text{ kg/s}$$

und kann nun für die weiteren Gleichungen als gegeben angenommen werden.

Bei konstantem Druck gilt

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V_1}{T_1} \quad \text{bzw.} \quad V_1 = \frac{T_1}{T_0} V_0.$$

wenn  $V_1$  das benötigte Luftvolumen bei  $20^\circ\text{C}$  und  $V_0$  das für  $0^\circ\text{C}$  entsprechende Volumen bezeichnet,  $T_1$  und  $T_0$  bezeichnen die dazugehörigen Temperaturen.

Das auf die Zeit  $t$  bezogene Luftvolumen ist

$$\frac{V_1}{t} = \frac{T_1}{T_0} \cdot \frac{V_0}{t} = \frac{T_1}{T_0} \cdot \frac{m_L}{t} \cdot \frac{1}{\rho_L}$$

Legt die einströmende Luft die Wegstrecke  $s$  in einer Zeit  $t$  zurück, so ist

$$V_1 = s \cdot A,$$

wenn  $A$  die Querschnittsfläche des Rohres bezeichnet.

$$\frac{s}{t} = v = \frac{V_1}{A \cdot t} = \frac{T_1}{T_0} \frac{m_L}{t} \frac{1}{A \rho_L}$$

$$\begin{aligned} v_1 &= \frac{m_L}{t} \cdot \frac{T_1}{T_0} \frac{1}{\pi r_1^2 \rho_L} \\ &= 0,715 \text{ kg/s} \cdot \frac{293 \text{ K}}{273 \text{ K}} \frac{1}{\pi \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot 1,29 \text{ kg/m}^3} \\ &= 18,9 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Bei der Oxydation schrumpft das Volumen auf  $0,79 V_1 = V_2$ .

Da der Druck konstant bleiben soll, ist

$$V_2 = \frac{T_2}{T_1} V_1 = \frac{T_2}{T_1} 0,79 V_1.$$

Weiter gilt

$$\pi \cdot r_2^2 s_2 = 0,79 \frac{T_2}{T_1} \pi r_1^2 s_1$$

und

$$\begin{aligned} v_2 &= \frac{s_2}{t} = 0,79 \frac{T_2}{T_1} \frac{r_1^2}{r_2^2} \cdot v_1 \\ &= 0,79 \frac{T_2}{T_0} \frac{1}{\pi \cdot r_2^2 \rho_L} \frac{m_L}{t} \end{aligned}$$

$$v_2 = \frac{0,79 \cdot 1273 \text{ K} \cdot 0,715}{273 \text{ K} \cdot \pi \cdot 2,25 \cdot 0,01 \text{ m}^2 \cdot 1,29 \text{ kg/m}^3}$$

$$= 28,9 \text{ m/s}$$

### 2.3. Lösung

2.3.1. Die in der Zeit  $t$  insgesamt hindurchgehende Ladung ist, wenn  $N$  die Anzahl der Teilchen darstellt

$$Q = N \cdot Q_e$$

$$\frac{N}{t} = \frac{Q}{t} \cdot \frac{1}{Q_e} = \frac{I}{Q_e}$$

$$= \frac{5 \cdot 10^{-6} \text{ A}}{1,60 \cdot 10^{-19} \text{ As}} = 3,12 \cdot 10^{13} \text{ s}^{-1}$$

2.3.2. Jedes Elektron erfährt im elektrischen Feld  $E$  die Kraft,

$$F = Q_e E$$

und mit

$$E = \frac{U}{d}$$

$$F = \frac{Q_e U}{d}$$

Aus dem Newtonschen Grundgesetz

$$F = m a$$

folgt eine konstante Beschleunigung

$$a = \frac{F}{m} = \frac{Q_e}{m_e} \frac{U_G}{d} = \text{const}$$

Für den gesamten Ablauf der Bewegung gelten daher die Gesetze, die für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung bekannt sind. Das Teilchen bewegt sich von der Anode zur Gegenkatode wie eine Masse unter dem Einfluß der Gravitation, die senkrecht nach oben geworfen wird. Die Beschleunigung ist durch  $U_G$  regelbar. Sie kann so eingerichtet werden, daß die Geschwindigkeit der Teilchen an der Gegenkatode Null ist. Der Elektrodenabstand  $d$  entspricht dann der Steighöhe.

$$v_0 = \sqrt{2 a d} = \sqrt{2 \frac{Q_e}{m_e} U_G d}$$

$v_0$  hängt nur von  $U_G$ , nicht von  $d$  ab.

$$v_0 = \sqrt{2 \frac{1,60 \cdot 10^{-19} \text{ As}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}} 2 \cdot 10^3 \text{ V}} = 2,65 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

Ist die Gegenspannung dem Betrage nach kleiner als  $U_0$ , fließt ein Strom  $I$ , ist sie größer als  $U_0$ , fließt kein Strom, da keine Elektronen zur Gegenkatode gelangen.

## 2.4. Lösung

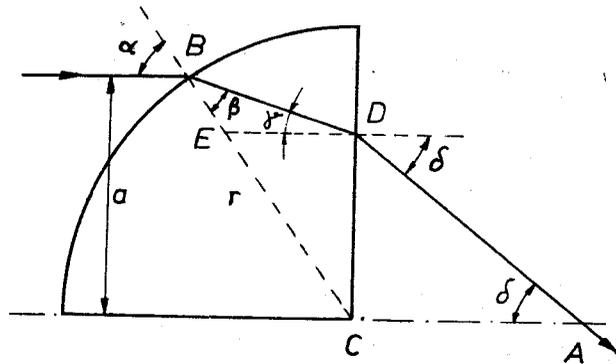


Abbildung 9

Der Lichtstrahl, der parallel zur Achse im Abstand  $a$  auf die Halbkugel trifft, wird zweimal gebrochen: in  $B$  und in  $D$  (Abbildung 9). Nach dem Brechungsgesetz können für die Winkel  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  die Beziehungen aufgeschrieben werden

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n \quad \text{und} \quad \frac{\sin \delta}{\sin \gamma} = n.$$

Im Dreieck  $BED$  gilt nach dem Außenwinkelsatz

$$\alpha = \beta + \gamma \quad \text{oder} \quad \gamma = \alpha - \beta.$$

Für das Dreieck  $BCD$  wendet man den Sinussatz an

$$\frac{DC}{r} = \frac{\sin \beta}{\sin(90^\circ + \gamma)} = \frac{\sin \beta}{\cos \gamma} = \frac{\sin \beta}{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma}},$$

und im rechtwinkligen Dreieck  $DCA$  erhält man

$$\overline{AC} = \overline{DC} \cot \delta = \overline{DC} \frac{\cos \delta}{\sin \delta}.$$

Damit sind alle Beziehungen bekannt, um  $\overline{AC}$  zu berechnen. Da nur die Grenzfälle interessieren, wird unterschieden

- achsennahe Strahlen,  $a \ll r$ , d.h. kleine Winkel  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ .

Näherungsweise können dann die vereinfachten Beziehungen

benutzt werden:

$$\beta = \frac{\alpha}{n}, \quad \gamma = \alpha - \frac{\alpha}{n} = \alpha \left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

$$\delta = n \cdot \gamma = \alpha (n - 1).$$

Dann wird

$$\overline{DC} = r \cdot \beta$$

$$\overline{AC} = \frac{r \cdot \alpha}{n \cdot \alpha (n - 1)} = \frac{r}{n (n - 1)} = 1,78 r$$

- Strahlen, die maximal von der Achse entfernt sind,  $\alpha \approx r$ .

Näherungsweise nimmt man an

$$\alpha = 90^\circ, \quad \overline{CD} = r.$$

Damit wird

$$\beta = \beta_G \text{ (Grenzwinkel) mit}$$

$$\sin \beta_G = \frac{1}{n} \quad \text{und}$$

$$\gamma = 90^\circ - \beta, \quad \sin \delta = n \sqrt{1 - \frac{1}{n^2}}$$

Für die gesuchte Strecke  $\overline{AC}$  ergibt sich schließlich

$$\overline{AC} = r \sqrt{\frac{1 - n^2 + 1}{n^2 - 1}} = \sqrt{\frac{2 - n^2}{n^2 - 1}} \cdot r$$

$$\overline{AC} = 0,041 r$$

Wenn  $n^2 > 2$ , ist der Grenzwinkel der Totalreflexion,  $\beta_G$ , kleiner als  $45^\circ$  und damit  $\gamma > 45^\circ$ , d.h., an der ebenen Begrenzungsfläche der Halbkugel treten Strahlen überhaupt nicht mehr aus, wenn sie einen bestimmten Mindestabstand  $a_G < r$  überschreiten.

3. Teil: 4 Aufgaben aus der Mechanik, Thermodynamik, Elektrizitätslehre und Optik

3.1.

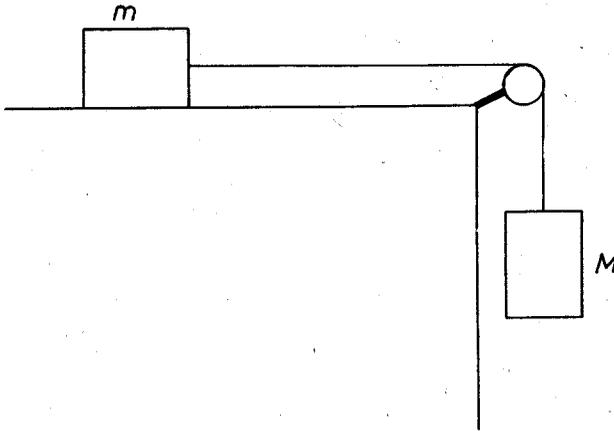


Abbildung 10

Auf einer waagerechten Unterlage liegt ein Körper der Masse  $m$ . Er ist über ein Seil und eine feste Umlenkrolle mit einer Masse  $M$  verbunden, die sich in vertikaler Richtung unter dem Einfluß der Erdanziehung bewegen kann.

3.1.1. Wie groß muß die Masse  $M$  sein, damit  $m$  zum Gleiten kommt?

3.1.2. Es sei  $M = m/2$ . Mit welcher Geschwindigkeit bewegt sich die Masse  $m$  nach  $1\text{ m}$  zurückgelegter Strecke?

3.1.3. Nach Durchlaufen der Strecke in 3.1.2. wechselt der Untergrund, auf dem  $m$  gleitet (größere Reibung). Kommt  $m$  zum Stillstand? Wenn ja, an welcher Stelle?

Haftreibungskoeffizient  
zu Beginn der Bewegung :  $\mu_H = 0,5$

Gleitreibungskoeffizient  
während des ersten Abschnitts :  $\mu_1 = 0,25$

Gleitreibungskoeffizient  
nach  $1\text{ m}$  Strecke :  $\mu_2 = 0,75$

3.2. In einem Zylinder mit beweglichem Kolben befinden sich 10 g Wasserstoff. Das Gas wird zunächst von einer Temperatur  $T_1 = 293 \text{ K}$  auf eine Temperatur  $T_2$  so erwärmt, daß der Druck  $p_1$  sich nicht ändert. Dabei verdoppelt sich das Volumen. Dann wird das Gas bei unveränderlichem Volumen wieder auf die Ausgangstemperatur abgekühlt.

3.2.1. Wie groß ist  $T_2$  ?

3.2.2. Welcher Druck stellt sich zum Schluß ein ?

3.2.3. Welche Wärmeenergie wird für die Erwärmung des Gases benötigt und welche Wärmeenergie gibt das Gas wieder ab ?

3.2.4. Welche Arbeit leistet das Gas ?

$$p_1 = 0,1 \text{ MPa}$$

$$C_p = 28,5 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

$$R_0 = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

3.3.

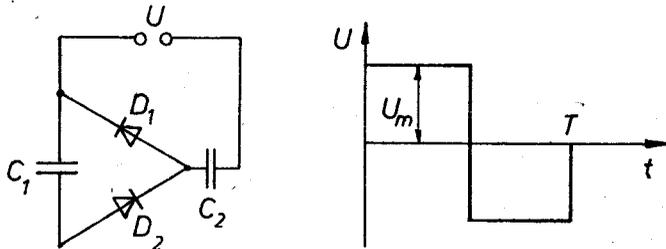


Abbildung 11

Zwei Kondensatoren mit den Kapazitäten  $C_1$  und  $C_2$  und zwei Dioden  $D_1$  und  $D_2$  sind in der Schaltung nach Abbildung 11 an eine Spannungsquelle  $U$  angeschlossen, die eine "Rechteckspannung" liefert. Zu Beginn ( $t = 0$ ) seien die Kondensatoren nicht geladen.

3.3.1. Welche Spannung  $U_1$  kann am Kondensator  $C_1$  nach einer Periode festgestellt werden ?

3.3.2. Wie groß ist  $U_1$  nach 33 Perioden und welchem Wert nähert sich  $U_1$  nach sehr vielen Perioden ?

a)  $C_1 = 50 \mu\text{F}$  ,  $C_2 = 2 \mu\text{F}$  ,  $U_m = 300 \text{ V}$

b)  $C_1 = 50 \text{ nF}$  ,  $C_2 = 2 \mu\text{F}$

3.4. Ein gerades Prisma mit der Grundfläche eines gleichseitigen Dreiecks ABC befindet sich auf einem Drehtisch, dessen Drehachse D mit der Symmetrieachse des Prismas übereinstimmt und in 10 s eine Umdrehung vollführt. Eine der drei Seitenflächen ist verspiegelt. Auf das Prisma fällt waagrecht ein Lichtstrahl in Richtung auf die Symmetrieachse des Prismas (Abb. 12).

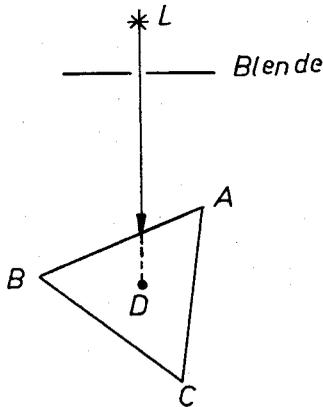


Abbildung 12

3.4.1. Welchen Winkel überstreicht der reflektierte Strahl und wieviel Sekunden lang kann er während einer Umdrehung beobachtet werden ?

3.4.2. Das Licht stammt aus einer punktförmigen Lichtquelle L. Wie groß ist der Abstand der Punkte, zwischen denen das virtuelle Bild  $L'$  wandert? Die Entfernung der Lichtquelle vom Punkt B im Moment des Auftreffens des Lichtstrahls auf B sei  $a$ .

3.4.3. Wie groß ist die Geschwindigkeit von  $L'$  wenn der Strahl senkrecht auf die verspiegelte Fläche trifft? Gegeben  $\overline{AB} = a = 5 \text{ cm}$ .

## 3.1. Lösung

3.1.1. Nach dem Newtonschen Grundgesetz gilt

$$(M + m) a = M g - \mu m g = g (M - \mu m)$$

Daraus folgt die Beschleunigung der beiden durch das Seil verbundenen Massen

$$a = g \frac{M - \mu m}{M + m}$$

M bewegt sich bei

$$M > \mu_H m \quad , \quad M > \frac{m}{2}$$

ohne Anstoß.

3.1.2. Für  $M = m/2$  folgt für die Beschleunigung (nach einem sehr kleinen Anstoß)

$$a_1 = g \frac{m/2 - \mu_1 m}{m/2 + m} = \frac{g}{3} (1 - 2\mu_1) = \frac{g}{6}$$

Nach den Gleichungen für die geradlinig gleichmäßig beschleunigte Bewegung erhält man für die Geschwindigkeit an der Stelle

$$s_1 = 1 \text{ m}$$

$$v_1 = \sqrt{2 a_1 s_1} = \sqrt{\frac{2}{3} g s_1 (1 - 2\mu_1)}$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2}{3} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 1 \text{ m} (1 - 2 \cdot 0,25)}$$

$$v_1 = 1,81 \text{ m/s}$$

3.1.3. Die Beschleunigung während des zweiten Abschnitts der Bewegung mit größerer Reibung ist

$$a_2 = \frac{g}{3} (1 - 2\mu_2)$$

Für  $\mu_2 > 1/2$  wird  $a_2$  negativ, d.h. die Bewegung der beiden Massen verläuft mit Verzögerung und m kommt zum Stillstand. Mit den vorgegebenen Werten von  $\mu_1$  und  $\mu_2$  ist  $a_2 = -a_1 = -g/6$ , so daß die Bewegung genau umgekehrt in zeitlicher Folge abläuft und die Masse m genau 1 m nach Wechsel des Untergrunds, oder 2 m nach Beginn der Bewegung, zum Stillstand kommt.

## 3.2. Lösung

Die Zustandsänderungen erfolgen nach der Gleichung für ideale Gase

$$p V = m R T$$

3.2.1. Erwärmung bei konstantem Druck  $p_1$ 

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad \text{und da} \quad V_2 = 2 V_1, \text{ ist}$$

$$T_2 = 2 T_1 = 586 \text{ K}$$

3.2.2. Abkühlung bei konstantem Volumen  $V_2$ 

$$\frac{p_3}{p_2} = \frac{T_3}{T_2} = \frac{T_1}{2 T_1}, \quad \text{da } T_3 = T_1 \quad \text{und } T_2 = 2 T_1.$$

$$p_3 = p_1/2 = 50 \text{ kPa}, \quad \text{da } p_2 = p_1.$$

## 3.2.3.

$$Q_{\text{Erwärmung}} = \frac{m}{m_M} C_p (T_2 - T_1) = \frac{m}{m_M} C_p T_1$$

$$m_M = \text{relative Molmasse des Wasserstoffs} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

$$Q_{\text{Erw.}} = \frac{10^{-2} \text{ kg} \cdot 28,5 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \cdot 293 \text{ K}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}} = 41,8 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{Abkühlung}} = \frac{m}{m_M} C_V (T_1 - 2 T_1) = - \frac{m}{m_M} C_V T_1$$

Da  $R_0 = C_p - C_V$  ist

$$Q_{\text{Abk.}} = - \frac{m}{m_M} (C_p - R_0) T_1$$

$$|Q_{\text{Abk.}}| = \frac{10^{-2} \text{ kg} (28,5 - 8,3) \text{ J/mol} \cdot \text{K} \cdot 293 \text{ K}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}} = 29,5 \text{ kJ}$$

## 3.2.4.

$$W_{\text{Erwärmung}} = p_1 (V_2 - V_1) = p_1 V_1 = \frac{m}{m_M} R_0 T_1$$

$$W_{\text{Erw.}} = \frac{10^{-2} \text{ kg} \cdot 8,3 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \cdot 293 \text{ K}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}} = 12,2 \text{ kJ}$$

$$W_{\text{Abkühlung}} = 0, \quad \text{da } \Delta V = 0.$$

(W kann auch aus  $Q_{\text{Erw./Abk.}}$  und dem 1. Hauptsatz der Wärmelehre ermittelt werden.)

## 3.3. Lösung

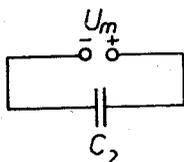


Abbildung 13

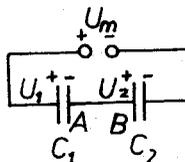


Abbildung 14

3.3.1. Zuerst wird die Halbwelle betrachtet, wenn  $D_2$  gesperrt ist (unendlich hoher Widerstand für  $D_2$ ),  $D_1$  läßt den Strom ungehindert durch ( $R = 0$ ). Dann gibt Abb. 13 das Verhalten der Schaltung wieder.  $C_2$  lädt sich auf, auf den Platten von  $C_2$  befindet sich die Ladung  $\pm Q$  und  $|Q| = C_2 U_m$ . Die Platte, die mit den Dioden verbunden ist, hat die negative Ladung  $-C_2 U_m$ . In der nächsten Halbwelle ist  $D_1$  gesperrt,  $D_2$  repräsentiert den Widerstand Null (Abb. 14). Die Ladung  $-Q$  kann nicht abfließen (zur Anode), sondern verteilt sich auf  $C_1$  und  $C_2$ . Auf  $C_1$  sei die Ladung  $Q_1$ , auf  $C_2$  die Ladung  $Q_2$ . Speziell auf den der Spannungsquelle abgewandten Seite (Platten A und B) ist negative Ladung  $-Q_1$  auf A, während das Vorzeichen der Ladung  $Q_2$  auf B von dem Verhältnis  $C_1/C_2$  abhängt. Zur Veranschaulichung nehmen wir zunächst  $C_2 \ll C_1$  an, dann bleibt im Moment des Nulldurchgangs der Spannung fast keine (negative) Ladung auf B und die betrachtete Halbwelle influenziert  $+Q_2$  auf B, wie in der Abb. 14 bezeichnet.

$$-Q = -Q_1 + Q_2$$

Dann ergeben die Teilspannungen an den Kondensatoren  $U_1$ ,  $U_2$  in der Summe  $U_m$

$$U_m = U_1 + U_2 \quad \text{bzw.} \quad U_2 = U_m - U_1$$

und einzeln gilt

$$Q_1 = C_1 U_1, \quad Q_2 = C_2 U_2 \quad \text{und damit}$$

$$-C_2 U_m = -C_1 U_1 + C_2 U_2 = -C_1 U_1 + C_2 U_m - C_2 U_1$$

$$U_1 = \frac{2 C_2}{C_1 + C_2} U_m$$

$$U_2 = \left(1 - \frac{2 C_2}{C_1 + C_2}\right) U_m = \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} U_m$$

Beide Gleichungen gelten allgemein ohne Einschränkung.

Fallunterscheidung:

1.  $C_1 > C_2$  , dann sind  $U_1, U_2 > 0$  (Abb. 14)
2.  $C_1 = C_2$  , dann ist  $U_1 = U_m$  ,  $U_2 = 0$  , auf  $C_2$  ist keine Ladung
3.  $C_2 \gg C_1$  , dann ist  $U_1 = 2 U_m$  ,  $U_2 = - U_m$   
(In Abb. 14 müssen die Vorzeichen an  $C_2$  geändert werden.)

a) 
$$U_1 = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{ F}}{52 \cdot 10^{-6} \text{ F}} 300 \text{ V} = 23 \text{ V}$$

$$U_2 = \frac{48 \cdot 10^{-6} \text{ F}}{52 \cdot 10^{-6} \text{ F}} 300 \text{ V} = 277 \text{ V}$$

b) 
$$U_1 = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{ F}}{2,05 \cdot 10^{-6} \text{ F}} 300 \text{ V} = 585 \text{ V}$$

$$U_2 = \frac{-1,95 \cdot 10^{-6} \text{ F}}{2,05 \cdot 10^{-6} \text{ F}} 300 \text{ V} = -285 \text{ V}$$

3.3.2. Während der dritten Halbwelle kommt erneut die Ladung  $-Q_2 = C_2 U_m$  auf die Platte B , auf A bleibt die negative Ladung

$$Q_1 = \frac{2 C_1 C_2}{C_1 + C_2} U_m .$$

In der vierten Halbwelle ist die Gesamtladung (negativ)

$$Q = \left(1 + \frac{2 C_1}{C_1 + C_2}\right) C_2 U_m \text{ auf beiden Platten zusammen.}$$

Gleiche Betrachtungen wie in 3.3.1. ergeben

$$U_1 = \frac{2 C_2}{C_1 + C_2} \left(1 + \frac{C_1}{C_1 + C_2}\right) U_m$$

$$U_2 = U_m \left[1 - \frac{2 C_2}{C_1 + C_2} \left(1 + \frac{C_1}{C_1 + C_2}\right)\right]$$

In der fünften Halbwelle erhält die Platte B die negative Ladung  $-Q_2 = C_2 U_m$ , und die negative Ladung auf A ist  $C_1 U_1$ .  
Dann ergibt sich nach der sechsten Halbwelle

$$U_1 = \frac{2 C_2}{C_1 + C_2} \left[ 1 + \frac{C_1}{C_1 + C_2} + \left( \frac{C_1}{C_1 + C_2} \right)^2 \right] U_m$$

Allgemein ergibt sich damit

$$U_1 = \sum_{n=0}^{k-1} a q^n \quad \text{mit} \quad a = \frac{2 C_2}{C_1 + C_2} U_m \quad \text{und} \quad q = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

$k$  ist die Zahl der durchlaufenen Perioden.

Da  $U_1$  durch die Summe einer geometrischen Reihe dargestellt wird, kann man schreiben

$$U_1 = 2 \left[ 1 - \left( \frac{C_1}{C_1 + C_2} \right)^{k-1} \right] U_m$$

$$U_2 = -2 \left[ \frac{1}{2} - \left( \frac{C_1}{C_1 + C_2} \right)^{k-1} \right] U_m$$

Für  $k = 33$

$$\text{a) } U_1 = 2 \left[ 1 - \left( \frac{50 \cdot 10^{-6} \text{ F}}{52 \cdot 10^{-6} \text{ F}} \right)^{32} \right] 300 \text{ V} = 429 \text{ V}$$

$$U_2 = 300 \text{ V} - 429 \text{ V} = -129 \text{ V}$$

$$\text{b) } U_1 = 2 \left[ 1 - \left( \frac{0,05 \cdot 10^{-6} \text{ F}}{2,05 \cdot 10^{-6} \text{ F}} \right)^{32} \right] 300 \text{ V} \approx 600 \text{ V}$$

$$U_2 \approx -300 \text{ V}$$

Wenn  $k \rightarrow \infty$  ( $n \rightarrow \infty$ ) vereinfacht sich die Summe der geometrischen Reihe

$$U_1 = \frac{a}{1 - q} = 2 U_m \quad \text{und} \quad U_2 = -U_m$$

Man erhält in jedem Fall

$$U_1 = 600 \text{ V} \quad , \quad U_2 = -300 \text{ V}$$

Es handelt sich um eine Spannungsverdopplungsschaltung.

## 3.4. Lösung

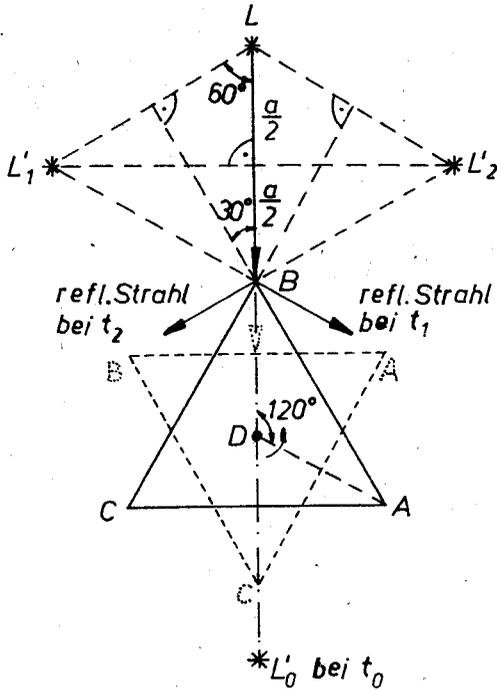


Abbildung 15  
(AB verspiegelt)

3.4.1. Sobald die Stellung des Prismas nach Abb. 15 erreicht ist, fällt der Lichtstrahl auf  $\overline{AB}$  und wird reflektiert (Zeitpunkt  $t_1$ ). Wenn das Prisma sich um  $120^\circ$  gedreht hat, geht A in B, B in C und C in B über (Zeitpunkt  $t_2$ ). Danach ist kein reflektierter Strahl zu sehen. Der reflektierte Strahl überstreicht  $240^\circ$ . Reflexion erfolgt, solange der Lichtstrahl auf  $\overline{AB}$  trifft, d.h. während einer Drehung des Prismas um  $120^\circ = \frac{360^\circ}{3}$

$$t_2 - t_1 = \frac{1}{3} T = 3,33 \text{ s}$$

3.4.2.  $L_1'$  und  $L_2'$  sind die virtuellen Bilder der punktförmigen Lichtquelle  $L$  zu den Zeiten  $t_1$  und  $t_2$ . Nach Abb. 15 gilt

$$\frac{\overline{LL_1'}}{2} = a \cdot \sin 30^\circ = \frac{a}{2}, \quad \overline{LL_1'} = a$$

Weiterhin gilt

$$\frac{\overline{L_1'L_2'}}{2} = \overline{LL_1'} \cdot \sin 60^\circ = a \cdot \sin 60^\circ = a \cdot \frac{1}{2} \sqrt{3}$$

$$\overline{L_1'L_2'} = \sqrt{3} \cdot a = 8,7 \text{ cm}$$

3.4.3. Die Winkelgeschwindigkeiten von Prisma und virtuellem Bild sind gleich ( $\omega$ ). Dann gilt für den Moment, in dem der Strahl senkrecht auf  $\overline{AB}$  auftrifft (Zeitpunkt  $t_0$ )

$$v_0 = \overline{LL_0'} \cdot \omega$$

$$v_0 = 2 \left( a + \frac{a}{6} \sqrt{3} \right) \omega = \left( 2 + \frac{\sqrt{3}}{3} \right) a \frac{2\pi}{T} = 8,1 \text{ cm/s}$$

4. Teil: 4 Aufgaben aus der Mechanik, Thermodynamik, Elektrizitätslehre und Optik

4.1. Ein Radrennfahrer fährt mit einer Geschwindigkeit von  $v = 45 \text{ km/h}$  in eine Kurve mit einem Krümmungsradius  $r = 30 \text{ m}$ . Beim Durchfahren der Kurve muß das Rad um einen bestimmten Winkel zum Krümmungsmittelpunkt hin geneigt werden.

4.1.1. Wie groß ist der Winkel gegen die Horizontale ?

4.1.2. Die Kurve soll eine Überhöhung von  $\alpha = 45^\circ$  besitzen. In welchem Geschwindigkeitsbereich gleitet das Rad nicht weg ?

Haftreibungskoeffizient  $\mu = 0,5$

4.2. Infolge der hohen Temperatur an der Oberfläche strahlt die Sonne nach dem Stefan-Boltzmannschen Gesetz Energie nach allen Richtungen in den Raum. Auf die Erdoberfläche fallen bei senkrechtem Einfall der Strahlen  $1,37 \text{ kJ}$  Energie je Quadratmeter und Sekunde dieser Strahlung (Solarkonstante  $K_p$ ). Würde angenommen, daß von der Erde ständig nur Energie aufgenommen wird, würde die Temperatur an der Oberfläche immer weiter ansteigen. Da aber die Erde ebenfalls (nach dem gleichen Gesetz) Energie abstrahlt, stellt sich eine Gleichgewichtstemperatur ein.

4.2.1. Welche Oberflächentemperaturen können für Sonne und Erde berechnet werden ?

4.2.2. Welche Temperaturen ergeben sich für die Oberflächen der Nachbarplaneten Venus und Mars und den viel weiter entfernten Planeten Pluto ?

Stefan-Boltzmann-Konstante  $\sigma = 5,75 \cdot 10^{-8} \text{ J/s m}^2 \text{ K}^4$

siderische Umlaufzeiten  $t_{\text{Mars}} = 1,88 \text{ a}$

$t_{\text{Venus}} = 0,62 \text{ a}$

$t_{\text{Pluto}} = 247,7 \text{ a}$

Sonnenradius  $r_S = 6,96 \cdot 10^5 \text{ km}$

Abstand Erde - Sonne  $r_{ES} = 1,5 \cdot 10^8 \text{ km}$

4.3. Es ist die Schaltung nach Abb. 16 gegeben.  $U_x$  ist eine unbekannte Gleichspannungsquelle (Innenwiderstand Null). Der Strom  $I_A$  durch das Amperemeter mit dem Innenwiderstand  $R_A$  wird gemessen.

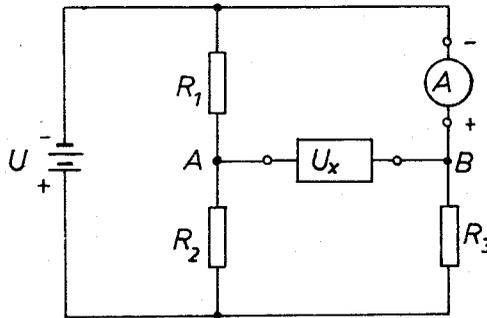


Abbildung 16

Wie groß sind die Spannung  $U_x$  und der von  $U_x$  gelieferte Strom  $I_x$ ? Positiver und negativer Pol von  $U_x$  sind in a), b), c), d) den Punkten A und B zuzuordnen!

$U = 6 \text{ V}$ ,  $R_1 = 20 \Omega$ ,  $R_2 = 40 \Omega$ ,  $R_3 = 2 \Omega$ ,  $R_A = 1 \Omega$ ,

a)  $I_A = 2,2 \text{ A}$ , b)  $I_A = 1,8 \text{ A}$ , c)  $I_A = 0 \text{ A}$ , d) das Amperemeter schlägt nach der anderen Seite aus (Umpolung) und zeigt  $I_A = 0,5 \text{ A}$  an.

4.4. Die Innenfläche einer Halbkugel vom Radius  $r$  bildet einen Spiegel, auf den achsenparallele Strahlen treffen (Abb. 17). Diese schneiden die Achse  $a$  nach ein- oder mehrmaliger Reflexion in verschiedenen Punkten je nach ihrem Abstand  $h$  von  $a$ .

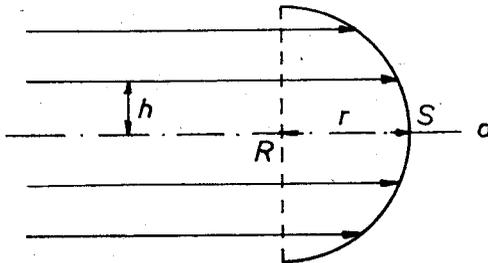


Abbildung 17

- 4.4.1. Wie groß darf  $h$  höchstens sein, damit Strahlen den Spiegel nach einmaliger Reflexion verlassen können ?
- 4.4.2. Welchen Abstand von der Achse müssen Strahlen haben, die den Spiegel nach 2, 3, ...,  $n$ -maliger Reflexion in der Halbkugel parallel zur Achse wieder verlassen ?
- 4.4.3. Der maximale Abstand  $h_m$  ist für solche Strahlen anzugeben, die nach einmaliger Reflexion die Achse schneiden !
- 4.4.4. Der Abstand dieses Schnittpunktes vom Scheitel  $S$  ist bei gegebenem  $h$  und  $r$  zu berechnen !

#### 4.1. Lösung

- 4.1.1. Der Massenmittelpunkt (Schwerpunkt) sei  $M$ , der Auflagepunkt des Rades  $P$ . In der Kurve wirkt (außer der vertikalen Gravitationskraft  $F_G$ ) in horizontaler Richtung, senkrecht zur "Drehachse", die Zentrifugalkraft  $F_Z$  nach außen. Beide Kräfte müssen eine resultierende Kraft  $F_P$  ergeben, die genau in Richtung von  $MP$  liegt, damit das Rad nicht kippt (Abb. 18).

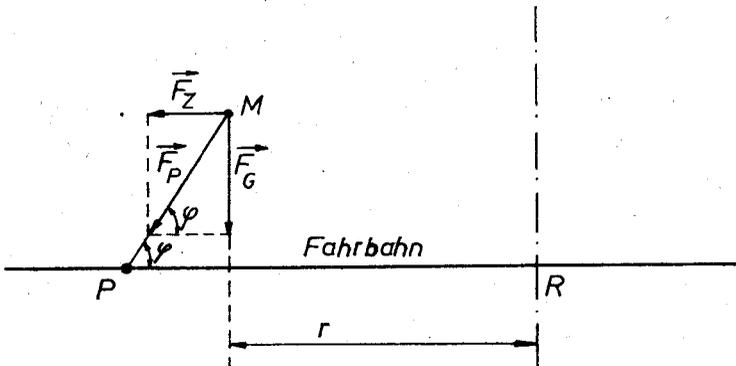


Abbildung 18

Dann gilt

$$F_Z = \frac{m v^2}{r}, \quad F_G = m g$$

$$\tan \varphi = \frac{F_G}{F_Z} = \frac{g r}{v^2} = \frac{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 30 \text{ m}}{(12,5 \text{ m/s})^2} = 1,88$$

$$\varphi = 62^\circ$$

4.1.2. Für eine allgemeine Betrachtung sind Fallunterscheidungen notwendig. Bei sehr kleinen Geschwindigkeiten ist  $\varphi \approx 90^\circ$ , und das Rad könnte nach innen rutschen, für sehr große Geschwindigkeiten geht  $\varphi \rightarrow 0$  und das Rad könnte nach außen gleiten. Bei einer ganz bestimmten Geschwindigkeit, wenn  $\varphi + \alpha = 90^\circ$ , steht das Rad senkrecht auf der Bahn (Abb. 19). Dann spielt die Reibung keine Rolle, da keine Komponente in der Bahnebene wirkt. Der dazugehörige Winkel sei  $\varphi_0 = 90^\circ - \alpha$ , die Geschwindigkeit sei  $v_0$ , dann ist

$$\tan \varphi_0 = \frac{g r}{v_0^2} = \tan (90^\circ - \alpha) \quad \text{bzw.}$$

$$v_0 = \sqrt{g r \cdot \tan \alpha} = \sqrt{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 30 \text{ m} \cdot 1}$$

$$v_0 = 17,2 \text{ m/s} = 62 \text{ km/h}$$

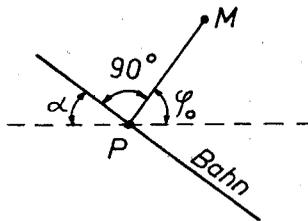


Abbildung 19

Fall:  $v < v_0$  bzw.  $\varphi + \alpha > 90^\circ$  (Abb. 20)

Die nach 4.1.1. sich in M ergebende, resultierende Kraft  $F_P$  wirkt in P auf die Bahn und hat die Normalkomponente  $F_N$  und die Tangentialkomponente  $F_T$ , die das Rad unter dem Fahrer nach innen zieht.

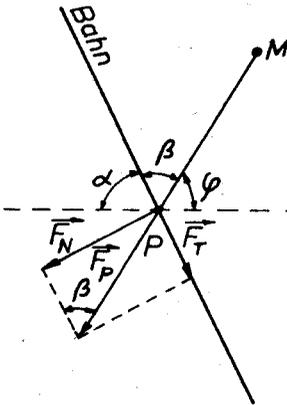


Abbildung 20

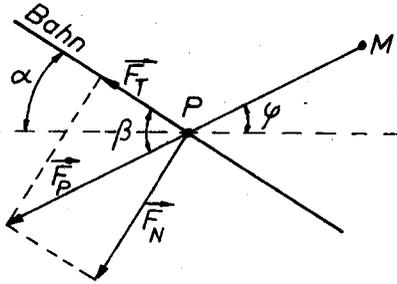


Abbildung 21

Da  $\beta = 180^\circ - (\alpha + \varphi)$  ist

$$F_N = F_P \sin[180^\circ - (\alpha + \varphi)] = F_P \sin(\alpha + \varphi)$$

$$F_T = F_P \cos[180^\circ - (\alpha + \varphi)] = -F_P \cos(\alpha + \varphi) > 0$$

Die Reibungskraft, die  $F_T$  entgegenwirkt, ist

$$F_R = \mu F_N, \quad \text{so da\ss als Bedingung f\u00fcr die Stabilit\u00e4t}$$

$$F_T < F_R$$

$$-F_P \cos(\alpha + \varphi) < \mu F_P \sin(\alpha + \varphi) \quad \text{folgt.}$$

Durch Anwendung der Additionstheoreme (Tafelwerk) und Einsetzen des Resultates von 4.1.1. ergibt sich die Bedingung

$$v^2 > g r \frac{\tan \alpha - \mu}{1 + \mu \tan \alpha}$$

Bei Stillstand ( $v = 0$ ) ist diese Bedingung erf\u00fcllt, wenn  $\mu > \tan \alpha$ . Im gegebenen Fall trifft dies nicht zu. Mit  $\alpha = 45^\circ$  und  $\mu = 0,5$  mu\ss  $v > 0$  sein:

$$v > \sqrt{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 30 \text{ m} \frac{1 - 0,5}{1 + 0,5}} = 9,9 \text{ m/s} = 35,7 \text{ km/h}$$

Die Mindestgeschwindigkeit, um nicht nach innen abzugleiten, beträgt 35,7 km/h. Die Geschwindigkeit kann gesteigert werden bis  $v_0 = 62$  km/h.

Fall :  $v > v_0$  bzw.  $\varphi + \alpha < 90^\circ$  (Abb. 21)

In diesem Fall gilt

$$\beta = \alpha + \varphi$$

$$F_N = F_P \sin(\alpha + \varphi)$$

$$F_T = F_P \cos(\alpha + \varphi)$$

und aus  $F_T < F_R = \mu F_N$  folgt die Bedingung

$$v^2 (1 - \mu \tan \alpha) < g r (\mu + \tan \alpha) \quad (*)$$

$$v^2 < g r \frac{\mu + \tan \alpha}{1 - \mu \tan \alpha} = 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 30 \text{ m} \frac{0,5 + 1}{1 - 0,5 \cdot 1}$$

$$v < \sqrt{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 30 \text{ m} \cdot 3} = 29,7 \text{ m/s} = 107 \text{ km/h}$$

Die maximale Geschwindigkeit bis zum Abgleiten nach außen ist 107 km/h. Wäre die Reibung genügend groß, so daß  $\mu \tan \alpha > 1$ , wäre für jedes noch so große  $v$  die Bedingung (\*) erfüllt und das Rad könnte überhaupt nicht nach außen abrutschen.

#### 4.2. Lösung

4.2.1. Nach dem Stefan-Boltzmannschen Gesetz ergibt sich für die gesamte, abgestrahlte Energie an der Sonnenoberfläche

$$E_S = A_S t \sigma T_S^4 = 4 \pi r_S^2 t \sigma T_S^4$$

$A_S$  = Sonnenoberfläche,  $T_S$  = Oberflächentemperatur der Sonne,  $t$  = Zeit.

Denkt man sich eine Kugeloberfläche um die Sonne mit dem Radius des Abstandes Erde - Sonne, so ist deren Oberfläche

$$A_{ES} = 4 \pi r_{ES}^2$$

und die in dieser Entfernung ankommende Energie je Fläche und Zeit (Solarkonstante  $K_E$ )

$$K_E = \frac{E}{t A_{ES}} = \frac{4 \pi r_S^2 \sigma T_S^4}{4 \pi r_{ES}^2} \quad \text{und}$$

$$T_S = \sqrt{\frac{r_{ES}}{r_S}} \sqrt[4]{\frac{K_E}{\sigma}} = \sqrt{\frac{1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}}{6,96 \cdot 10^8 \text{ m}}} \sqrt[4]{\frac{1,37 \cdot 10^3 \text{ J/m}^2 \text{ s}}{5,75 \cdot 10^{-8} \text{ J/m}^2 \text{ s K}^4}}$$

$$T_S = 5800 \text{ K}$$

Die Erde bedeckt von der betrachteten Kugelfläche nur den Teil, der dem Flächeninhalt eines Großkreises auf der Erde entspricht

$$A_E = \pi r_E^2 \quad (r_E : \text{Erdradius})$$

und die aufgenommene gesamte Energie ist

$$E_E = \pi r_E^2 t K_E$$

Andererseits strahlt die Erde die gleiche Energie in gleicher Zeit ab. Vernachlässigt man Temperaturunterschiede während der Eigenrotation (Tag und Nacht), so erfolgt die Abstrahlung gleichmäßig über die gesamte Oberfläche (schnelle Rotation).

$$E_E = 4 \pi r_E^2 t \sigma T_E^4$$

$$T_E = \sqrt[4]{\frac{K_E}{4\sigma}} = \sqrt[4]{\frac{1,37 \cdot 10^3 \text{ J/m}^2 \text{ s}}{4 \cdot 5,75 \cdot 10^{-8} \text{ J/m}^2 \text{ s K}^4}} = \sqrt[4]{0,772 \cdot 10^5 \text{ K}^2}$$

$$T_E = 278 \text{ K}$$

Wäre der Temperaturunterschied zwischen Tag und Nacht sehr groß, würde man die Abstrahlung in der Nacht vernachlässigen und es ergäbe sich

$$T_E' = \sqrt{2} \cdot T_E \quad (\text{zu hoch für die Erdoberfläche})$$

4.2.2. Für die Planeten gilt das Keplersche Gesetz

$$\frac{t_1^2}{t_2^2} = \frac{r_1^3}{r_2^3} \quad \text{bzw.} \quad \sqrt{\frac{r_2}{r_1}} = \sqrt[3]{\frac{t_2}{t_1}}$$

Ist  $K_P$  die Solarkonstante auf den Planeten,  $r_{PS}$  der Abstand des Planeten von der Sonne, so gilt

$$\frac{K_E}{K_P} = \frac{r_{PS}^2}{r_{ES}^2} \quad \text{bzw.} \quad K_P = K_E \frac{r_{ES}^2}{r_{PS}^2}$$

und die Temperatur auf den Planeten

$$T_P = \sqrt[4]{\frac{K_P}{4\sigma}} = \sqrt[4]{\frac{K_E}{4\sigma} \frac{r_{ES}^2}{r_{PS}^2}} = T_E \sqrt[3]{\frac{t_E}{t_P}}$$

bei Vernachlässigung der Unterschiede zwischen Tag und Nacht.

$$T_{\text{Venus}} = 278 \text{ K} \sqrt[3]{\frac{1}{0,62}} = 326 \text{ K} \quad (461 \text{ K})$$

$$T_{\text{Mars}} = 278 \text{ K} \sqrt[3]{\frac{1}{1,88}} = 225 \text{ K}$$

$$T_{\text{Pluto}} = 278 \text{ K} \sqrt[3]{\frac{1}{247,7}} = 44 \text{ K}$$

#### 4.3. Lösung

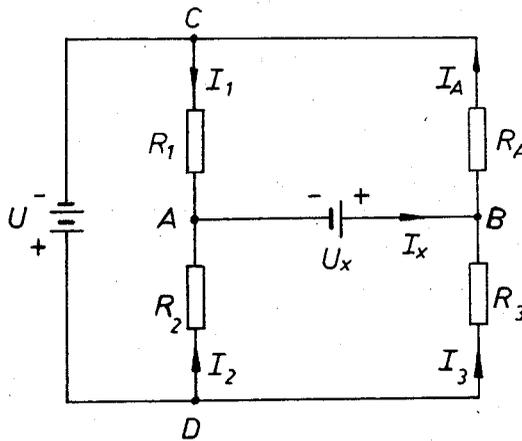


Abbildung 22

Wir wenden die Kirchhoffschen Regeln an. Die unbekannte Spannungsquelle  $U_x$  sei nach Abb. 22 angeschlossen, und die Richtungen der Ströme sind entsprechend Abb. 22 angenommen worden.

Dann gilt im Stromverzweigungspunkt B

$$I_x = I_A - I_3 \quad (1)$$

und aus dem Stromkreis UDBCU erhält man für die Spannungen

$$U = I_3 R_3 + I_A R_A \quad (2)$$

(2) nach  $I_3$  umgestellt und in (1) eingesetzt ergibt

$$I_x = I_A \left(1 + \frac{R_A}{R_3}\right) - \frac{U}{R_3} \quad (3)$$

Im Stromverzweigungspunkt A gilt

$$I_x = I_1 + I_2 \quad (4)$$

Weiterhin folgt aus dem Stromkreis ADDBA

$$U_x = I_2 R_2 - I_3 R_3 \quad (5)$$

und aus dem Kreis UDCU

$$U = I_2 R_2 - I_1 R_1 \quad (6)$$

Aus den Gleichungen (2), (3), (4), (5), (6) erhält man

$$U_x = I_A \left[ \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \left(1 + \frac{R_A}{R_3}\right) + R_A \right] - U \frac{R_1 (R_2 + R_3)}{R_3 (R_1 + R_2)} \quad (7)$$

a) Bei  $I_A = 2,2 \text{ A}$  folgt für  $I_x$  nach Gleichung (3)

$$I_x = 0,3 \text{ A}$$

und nach Gleichung (7)

$$U_x = 4,2 \text{ V}$$

Für diesen Fall ist  $U_x$  entsprechend Abb. 22 gepolt.

b) Bei  $I_A = 1,8 \text{ A}$  erhält man

$$I_x = -0,3 \text{ A} \quad \text{und} \quad U_x = -4,2 \text{ V} .$$

Das negative Vorzeichen sagt aus, daß in diesem Fall der positive Pol von  $U_x$  an A und der negative an B angeschaltet sind.

c) Zeigt das Amperemeter keinen Stromfluß an ( $I_A = 0 \text{ A}$ ), so ist

$$I_X = -3 \text{ A} \quad , \quad U_X = -42 \text{ V} \quad .$$

$U_X$  ist wie bei Fall b) geschaltet.

d) Wenn das Amperemeter nach der anderen Seite ausschlägt bedeutet das, daß  $I_A$  entgegen der in Abb. 22 eingezeichneten Stromrichtung fließt und in den Gleichungen (3) und (7)  $I_A = -0,5 \text{ A}$  einzusetzen ist und man erhält

$$I_X = -3,8 \text{ A} \quad , \quad U_X = -49,2 \text{ V} \quad .$$

Also ist auch für diesen Fall  $U_X$  entgegengesetzt wie in Abb. 22 gezeichnet gepolt.

#### 4.4. Lösung

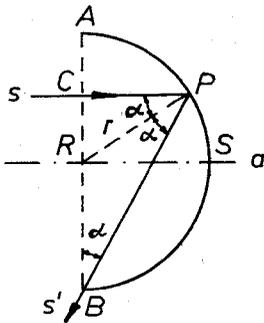


Abbildung 23

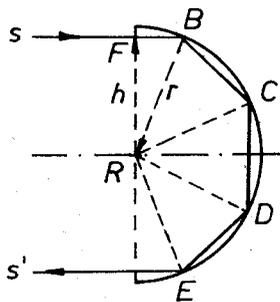


Abbildung 24

4.4.1. Ankommende Strahlen  $s$  werden nach dem Reflexionsgesetz bei  $P$  zurückgeworfen, so daß der reflektierte Strahl  $s'$  mit dem Lot  $\overline{RP}$  den gleichen Winkel  $\alpha$  bildet wie  $s$  (Abb. 23).

$$\sphericalangle s, \overline{RP} = \sphericalangle s', \overline{RP}$$

Für die Halbkugel geht der Strahl, der gerade noch den Spiegel nach einmaliger Reflexion verlassen kann, durch  $B$ . Dann ist im Dreieck  $RPB$

$$\overline{RB} = \overline{RP} = r \quad (\text{gleichschenkliges Dreieck})$$

und

$$\sphericalangle RBP = \sphericalangle RPB = \alpha$$

Nach dem Außenwinkelsatz gilt

$$\sphericalangle ARP = 2\alpha$$

und im rechtwinkligen Dreieck RCP kann man ablesen

$$\sphericalangle CRP = \sphericalangle ARP = 90^\circ - \alpha$$

Damit ergibt sich

$$\alpha = \frac{90^\circ}{3} = 30^\circ, \quad h = CR = r \sin \alpha = \frac{r}{2}$$

4.4.2. Der Strahlengang wird klar, wenn ein regelmäßiges  $2n$ -Eck in einen Kreis gelegt wird, so daß die Eckpunkte auf dem Kreis liegen. In der Abbildung 24 ist dies für  $n = 4$  (Achteck) gezeichnet. Der Strahl trifft in B auf den Spiegel und wandert nach E in Richtung  $s'$ . Es ist klar, daß in den Punkten B, C, D, E das Reflexionsgesetz erfüllt ist. Im Dreieck FRB gilt

$$h = r \cos \frac{360^\circ}{4n} = r \cos \frac{90^\circ}{n} \quad (n = \text{Anzahl der Reflexionen})$$

4.4.3. Es liegt der Spezialfall von 4.4.2. mit  $n=3$  vor (Abb.25). Der Schnittpunkt auf der Achse liegt dann bei S. Für  $h > h_{\max}$  trifft der Strahl nach der ersten Reflexion nicht mehr auf die Achse, sondern oberhalb von S wieder auf den Spiegel.

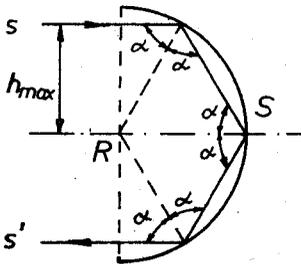


Abbildung 25

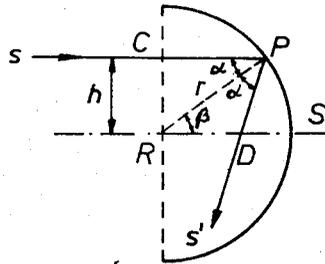


Abbildung 26

Nach 4.4.2. ist

$$h_{\max} = r \cos \frac{90^\circ}{3} = r \cos 30^\circ = \frac{1}{2} \sqrt{3} \cdot r$$

4.4.4. Nach 4.4.3. ist  $h < h_{\max}$ ,  $\alpha < 60^\circ$ . Im Dreieck RPC ist (Abb. 26)

$$\sin \alpha = \frac{h}{r} \quad \text{bzw.} \quad \cos \alpha = \sqrt{1 - \frac{h^2}{r^2}}$$

Nach dem Reflexionsgesetz gilt

$$\sphericalangle \text{CPD} = \sphericalangle \text{PDS} = 2\alpha \quad (\text{Wechselwinkel})$$

Im Dreieck RDP ist

$$\alpha + \beta = \sphericalangle \text{PDS} = 2\alpha \quad \text{und damit}$$

$$\beta = \alpha \quad (\text{gleichschenkliges Dreieck})$$

Im gleichschenkligen Dreieck werden die Seiten  $\overline{RD} = \overline{DP}$  aus der Basis und dem Winkel  $\alpha$  berechnet

$$\overline{RD} = \overline{DP} = \frac{r}{2 \cos \alpha} \quad \text{und damit}$$

$$\overline{DS} = r - \overline{DP} = r \left( 1 - \frac{1}{2 \cos \alpha} \right)$$

Diese Gleichung enthält die Spezialfälle  $\overline{DS} = 0$  ( $\alpha = 60^\circ$ ), d.h. Fall 4.4.3. und  $\alpha \rightarrow 0$ ,  $\overline{DS} = r/2$ , die übliche Näherung für den Hohlspiegel

$$\overline{DS} = r \left( 1 - \frac{1}{2 \sqrt{1 - \frac{h^2}{r^2}}} \right)$$

Hinweise zum Lösen der Aufgaben

(Die Seitenangaben beziehen sich auf die Lehrbücher der Physik, Klasse 6 von 1981 und der Klassen 7-10 von 1982.)

Aufgabe	Teilgebiet der Physik	erforderliche Kenntnisse	Physik-lehrbuch	
			Kl.	Seite
1.1.	Überlagerung von Bewegungen	Satz von der Erhaltung der Energie, kinetische Energie des starren Körpers, Rotationsenergie (einfachster Fall), Kreisbewegung, Rotation, gleichmäßig beschleunigte Bewegung	9	45,46
			12	34 oder Tafelwerk
			9	48-50 52-53 14-15
			10	49-50
1.2.	Wärmeübertragung	Wärmeleitung, Wärmeleitfähigkeit, eindimensionaler Fall	6	67 Lehrbücher der Experimentalphysik
1.3.	stationäre Ströme	unverzweigter und verzweigter Stromkreis, Potentiometer, logarithmisches Dämpfungsmaß	8	80-94
			9	Mathematik: 143-150 Elektronik für Bastler
1.4.	Brechung des Lichts	Brechungsgesetz, trigonometrische Beziehungen im rechtwinkligen Dreieck	10	109
			11	29 oder Tafelwerk
2.1.	Schwingungen	Fadenpendel, Kreisbewegung, Energieerhaltung, kinetische Energie, potentielle Energie, trigonometrische Beziehungen im rechtwinkligen Dreieck	10	49-55
			9	48-50 45-46
				42-45
2.2.	Zustandsgrößen von Gasen, strömende Flüssigkeiten und Gase	isobare Zustandsänderungen, Strömungsgeschwindigkeiten und Dichte	8	19-20
			7	95-96
			6	38
2.3.	stationäre Ströme	elektrische Stromstärke, Elementarladung, Kraftwirkung im elektrischen Feld, Newtonsches Grundgesetz, gleichmäßig beschleunigte Bewegung	8	53
			8	50
			9	70-72
			9	30-32
			9	14-15
				24

Aufgabe	Teilgebiet der Physik	erforderliche Kenntnisse	Physik-	
			lehrbuch Kl.	Seite
2.4.	Brechung des Lichts	Brechungsgesetz, trigonometrische Beziehungen im Dreieck (ohne rechten Winkel), Totalreflexion	10 11	109 29 oder Tafelwerk
3.1.	Kinematik, Dynamik	Newtonsches Grundgesetz, geradlinig, gleichförmig beschleunigte Bewegung, Reibung	9 9 7	30-33 11-16 20-23
3.2.	Zustandsgrößen von Gasen	Zustandsgleichung für ideale Gase mit allgemeiner Gaskonstanten $R_0$ , Grundgleichung der Wärmelehre, isobare und isochore Zustandsänderungen, 1. Hauptsatz der Wärmelehre	8 11 8 11 11	19-22 Tafelwerk 106 11-13 104-106 103-104
3.3.	Elektrostatik	elektrische Ladung, Kapazität eines Kondensators, Influenz, geometrische Reihe	9 9	68 77-78
3.4.	Reflexion des Lichts	Reflexion und Bildentstehung an ebenen Spiegel, trigonometrische Beziehungen im rechtwinkligen Dreieck, Kreisbewegung	6  9	95-98  Tafelwerk 48-49
4.1.	Kräfte im Gleichgewicht	Radialkraft und Zentrifugalkraft, Reibungskraft, Zusammensetzen und Zerlegen von Kräften, trigonometrische Beziehungen im rechtwinkligen Dreieck, Additionstheoreme	9 7 9	49-53 20-23 28-30
4.2.	Ausbreitung der Wärme	Wärmestrahlung, Stefan-Boltzmannsches Gesetz, 3. Keplersches Gesetz	6	70-72 Grimsehl  Tafelwerk Astronomie Kl. 10, S. 130

Aufgabe	Teilgebiet der Physik	erforderliche Kenntnisse	Physik- lehrbuch	
			Kl.	Seite
4.3.	stationäre Ströme	Ohmsches Gesetz, unverzweigter und verzweigter Stromkreis, Lösen eines linearen Gleichungssystems	8	70-72
			8	80-95
4.4.	Reflexion des Lichts	Reflexion am Hohlspiegel, trigonometrische Beziehungen im rechtwinkligen Dreieck	6	95-99

