



**PHYSICS.
OLYMPIAD.CH**

PHYSIK-OLYMPIADE
OLYMPIADES DE PHYSIQUE
OLIMPIADI DELLA FISICA

Physik-Olympiade

Zweite Runde

15. Januar 2025

Teil 1 : 21 MC Fragen

Zeit : 60 Minuten

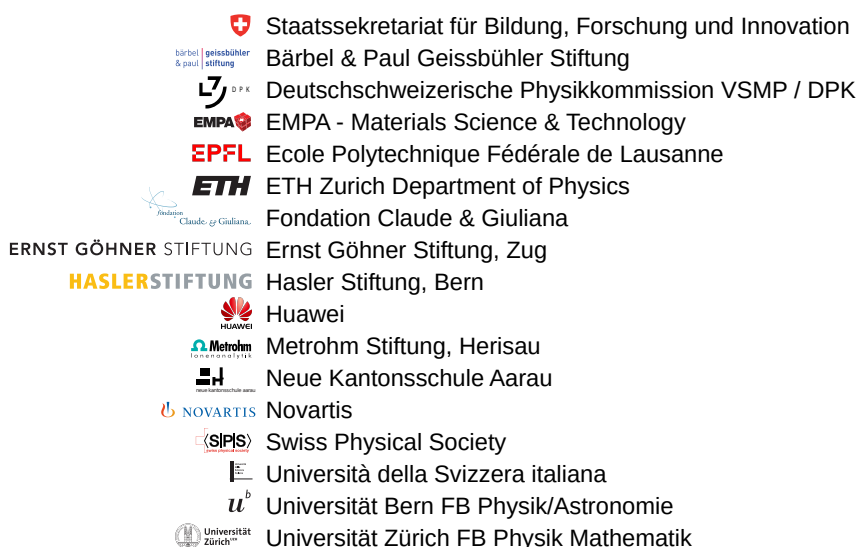
Total : 21 Punkte (21×1)

Erlaubte Hilfsmittel : Einfacher Taschenrechner

Schreib- und Zeichenmaterial

Viel Erfolg!

Supported by :



Naturkonstanten

Cäsium-Hyperfeinfrequenz	$\Delta\nu_{\text{Cs}}$	9.192 631 770	$\times 10^9$	s^{-1}
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	c	2.997 924 58	$\times 10^8$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Planck-Konstante	h	6.626 070 15	$\times 10^{-34}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Elementarladung	e	1.602 176 634	$\times 10^{-19}$	$\text{A} \cdot \text{s}$
Boltzmann-Konstante	k_{B}	1.380 649	$\times 10^{-23}$	$\text{K}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
Avogadro-Konstante	N_{A}	6.022 140 76	$\times 10^{23}$	mol^{-1}
Photometrisches Strahlungsäquivalent	K_{cd}	6.83	$\times 10^2$	$\text{cd} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^3 \cdot \text{sr}$
Magnetische Konstante	μ_0	1.256 637 062 12(19)	$\times 10^{-6}$	$\text{A}^{-2} \cdot \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Elektrische Konstante	ε_0	8.854 187 812 8(13)	$\times 10^{-12}$	$\text{A}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^4$
Gaskonstante	R	8.314 462 618...		$\text{K}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
Stefan-Boltzmann-Konstante	σ	5.670 374 419...	$\times 10^{-8}$	$\text{K}^{-4} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$
Gravitationskonstante	G	6.674 30(15)	$\times 10^{-11}$	$\text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$
Elektronenmasse	m_{e}	9.109 383 701 5(28)	$\times 10^{-31}$	kg
Neutronenmasse	m_{n}	1.674 927 498 04(95)	$\times 10^{-27}$	kg
Protonenmasse	m_{p}	1.672 621 923 69(51)	$\times 10^{-27}$	kg
Normfallbeschleunigung	g_{n}	9.806 65		$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

Multiple Choice

Zeit: 60 Minuten

Maximalpunktzahl: 21 Punkte (1 Punkt pro richtige Antwort)

- Multiple-Choice-Aufgaben (MC) haben mehrere Aussagen, von denen **genau eine** richtig ist. Wenn Du genau die richtige Antwort auf dem Antwortblatt markierst, erhältst Du einen Punkt, sonst null.

Frage 1.1 (MC)

Bekannterweise erstattet die Physik-Olympiade den Teilnehmenden die Kosten für Zugtickets. Ihr sucht einen Unterstützungspartner, der diese Kosten für die zweite Runde übernimmt. Was für Kosten erwarten den Unterstützungspartner am ehesten?

- A) CHF 9.- B) CHF 30.- C) CHF 900.-
 D) CHF 3000.- E) CHF 9000.- F) CHF 30000.-

Frage 1.2 (MC)

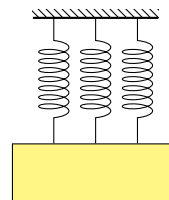
Mr. Fogg und Passepartout nehmen die Herausforderung an, die Welt zu umrunden. Sie entscheiden sich dafür, ihren Weg entlang des Äquators zu gehen. Mr. Fix, der sie verfolgt, befindet sich immer an dem Punkt auf der Erde, der den beiden Gefährten diametral gegenüberliegt. Wie oft befinden sich Fix und Fogg gleichzeitig auf der gleichen Höhe?

- A) Niemals.
 B) Möglicherweise nur einmal.
 C) Mindestens zwei Mal.
 D) Das hängt von der Position der Erde in Bezug auf die Sonne ab.

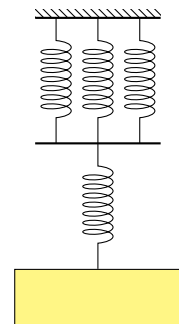
Frage 1.3 (MC)

Welche der folgenden Anordnungen hat die niedrigste äquivalente Federkonstante k_{eq} ? Alle Einzelfedern haben die gleiche Federkonstante k und die gleiche Länge.

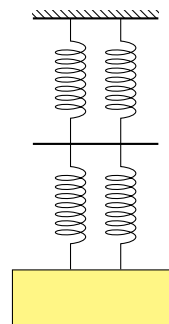
A)



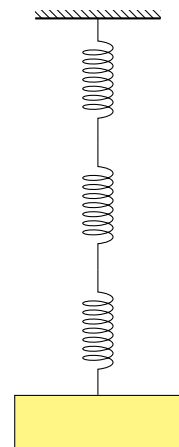
B)



C)



D)



Frage 1.4 (MC)

Globi hat beschlossen, zum Mond zu fliegen. Er möchte die Ausserirdischen besuchen, die auf dem Mond leben sollen. Da er natürlich nicht ohne etwas auftauchen will, hat er beschlossen, einen Laib Schweizer Käse mitzunehmen. Da er ihn gerecht aufteilen will, nimmt er auch eine Federwaage mit. Die Waage ist auf der Erde geeicht und die Gravitationskonstante auf dem Mond ist etwa sechsmal kleiner als auf der Erde. Was stellt er fest, als er den Käselaub auf dem Mond wiegt?

- A) Nichts. Die Waage zeigt das gleiche Gewicht an wie auf der Erde.
- B) Die Waage zeigt etwa das Sechsfache des Gewichts auf der Erde an.
- C) Die Waage zeigt etwa ein Sechstel des Gewichts der Erde an.
- D) Kann nicht vorhergesagt werden.

Frage 1.5 (MC)

Du befindest dich auf einer Expedition in einem U-Boot auf dem Saturnmond Titan, der Seen mit flüsigem Ethan und Methan hat. Du hast eine Dichte von etwa $500 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ und Titan hat eine Schwerkraftbeschleunigung von $1.35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Du weisst, dass Titan einen Oberflächendruck von 1.5 bar ($1 \text{ bar} = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$) hat. Das Barometer in deinem U-Boot zeigt einen Druck von 3 bar an. Wie tief bist du in dem See?

- | | |
|-------------|-------------|
| A) 0.22 m | B) 0.66 m |
| C) 220 m | D) 660 m |
| E) 22 000 m | F) 66 000 m |

Frage 1.6 (MC)

Eine Kokosnuss mit konstanter Geschwindigkeit explodiert und zerfällt in 3 Teile, die in verschiedene Richtungen davonfliegen. Welche der folgenden Aussagen ist für die jeweiligen Impulsvektoren im Bezugssystem der Kokosnuss richtig?

- A) Sie stehen senkrecht zueinander.
- B) Die Summe ihrer Längen ist gleich dem Anfangsimpuls der Kokosnuss.
- C) Die Vektoren haben die gleiche Länge.
- D) Die Vektoren liegen alle in einer Ebene.

Frage 1.7 (MC)

Ein Motorrad befindet sich in einem Sprung in der Luft und sein Vorderrad dreht sich für Alice, die es von der Seite beobachtet, im Uhrzeigersinn. Das Motorrad dreht sich zunächst nicht, und die Achse des Vorderrads ist mit der des Hinterrads ausgerichtet. Welche der folgenden Aussagen beschreibt genau, was passiert und warum es passiert, wenn der Fahrer auf die Bremse des Vorderrads tritt (und das Rad vollständig aufhört, sich in Bezug auf das Motorrad zu drehen)?

- A) Die Winkelgeschwindigkeit des Motorrads bleibt 0, da kein externes Drehmoment anliegt.
- B) Das Motorrad dreht sich aufgrund der Drehimpulserhaltung im Uhrzeigersinn.
- C) Das Motorrad beginnt sich aufgrund der Drehimpulserhaltung gegen den Uhrzeigersinn zu drehen.
- D) Aufgrund der Energieerhaltung dreht sich das Motorrad im Uhrzeigersinn.
- E) Aufgrund der Energieerhaltung dreht sich das Motorrad gegen den Uhrzeigersinn.
- F) Das Motorrad ändert seine horizontale Translationsgeschwindigkeit aufgrund der Energieerhaltung.

Frage 1.8 (MC)

Wie wir in der ersten Runde gelernt haben, braucht eine Person der Grösse h nur einen Spiegel der Grösse $h/2$, um sich selbst vollständig zu sehen. Wie sollte der Spiegel aufgehängt werden, damit sie sich tatsächlich sehen können?

- A) So, dass die Oberkante des Spiegels genau auf der Höhe der Kopfspitze liegt.
- B) Der obere Rand des Spiegels sollte sich ungefähr auf der Höhe der Stirn der Person befinden.
- C) So, dass die Mitte des Spiegels genau auf Höhe $h/2$ liegt.
- D) Dies hängt davon ab, wie weit die Person vom Spiegel entfernt ist.

Frage 1.9 (MC)

In Abb. 1 wird eine dünne konvexe Linse dargestellt. Der Abstand des Objekts zur Linse und seines Bildes zur Linse wird mit g bzw. b bezeichnet. Die Brennweite wird mit f bezeichnet. In welcher Distanz zur Linse muss ein Objekt platziert werden, damit das Bild genau die gleiche Grösse auf der anderen Seite der Linse hat?

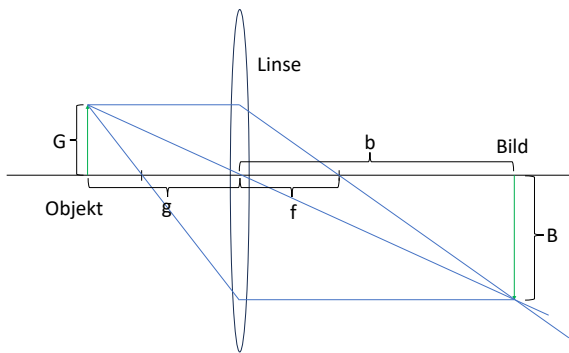


Abbildung 1: Anordnung der Linse und des Objektes mit Abstand g , sodass das Bild auf der Gegenseite mit Abstand b zu sehen ist.

- A) $2f$ B) f
 C) Es ist nicht möglich. D) $\frac{f}{2}$

Frage 1.10 (MC)

Wie gross ist bei einem eindimensionalen Spalt der Breite $l = 3 \text{ mm}$ der minimale Winkelabstand in Bogensekunden zwischen zwei Lichtern der Wellenlänge $\lambda = 500 \text{ nm}$, so dass sie durch den Spalt aufgelöst werden können?

- A) $35''$ B) $40''$
 C) $45''$ D) $50''$

Frage 1.11 (MC)

Ist eine Wärmekraftmaschine, die zwischen zwei Wärmereservoirs mit Temperaturen $T_1 = 0^\circ\text{C}$ und $T_2 = 100^\circ\text{C}$ mit einem Wirkungsgrad von 30% arbeitet, physikalisch möglich?

- A) Ja, unabhängig vom Verfahren.
 B) Ja, wenn der Prozess des Motors reversibel ist.
 C) Ja, je nach dem genauen Verfahren des Motors.
 D) Nein.

Frage 1.12 (MC)

Alice benutzt einen Eiswürfel, um ihr Glas Wasser zu kühlen. Kurz nachdem sie den Eiswürfel hineingetan hat, ist die Wasserhöhe im Glas h_1 . Nach einiger Zeit ist der Eiswürfel vollständig geschmolzen. Was kann man über die Wasserhöhe h_2 zu diesem Zeitpunkt sagen?

- A) $h_1 > h_2$
 B) $h_1 = h_2$
 C) $h_1 < h_2$
 D) Es werden nicht genügend Informationen gegeben.

Frage 1.13 (MC)

In der Formel 1 spielen die Reifen eine essenzielle Rolle. Der Reifendruck muss daher optimal sein. Wir wollen einen Reifen so befüllen, dass wir bei einem Reifendruck von 21 psi fahren können, wobei 1 psi ungefähr 0.07 bar entspricht. Durch das Fahren wird eine Reifentemperatur von 90°C erreicht und für diese Temperatur wird der Reifendruck von 21 psi erwartet. Auf welchen Druck müssen wir den Reifen in der Boxengasse bei einer Temperatur von 35°C füllen? Nimm dabei an, dass das Volumen konstant ist.

- A) 8.2 psi B) 7.0 psi
 C) 4.4 bar D) 1.2 bar
 E) 25 psi F) 18 bar

Frage 1.14 (MC)

Eine brennende Kerze steht in einem Becken, das bis auf die halbe Höhe der Kerze mit Wasser gefüllt ist. Albertina stülpt ein Glas über die Kerze, sodass das Glas ins Wasser eingetaucht ist. Die Kerze löscht ab. Was passiert mit dem Wasserspiegel innerhalb des Glases?

- A) Der Wasserspiegel sinkt.
 B) Der Wasserspiegel ändert sich nicht.
 C) Je nach Höhe über Meer steigt oder sinkt der Wasserspiegel.
 D) Der Wasserspiegel steigt.

Frage 1.15 (MC)

Betrachte den Stromkreis in Abb. 1. Durch welche Widerstände fließt der kleinste Strom (geringster Ampère-Wert) wenn alle den selben Widerstand R haben?

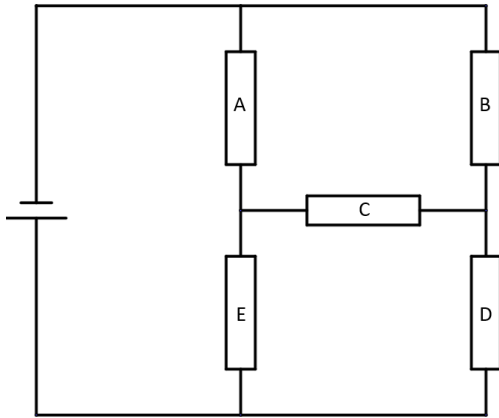


Abbildung 1: Stromkreis mit 5 Widerständen A,B,C,D und E, wobei alle den selben Wert R haben.

- A) A und E.
- B) B und D.
- C) Nur C.
- D) Durch alle fließt der selbe Strom.

Frage 1.16 (MC)

In welcher Situation ist das Risiko, vom Blitz getroffen und verletzt zu werden, am grössten?

- A) Treppensteigen im Eiffel-Turm.
- B) Sich im Wald verstecken.
- C) Ein Auto fahren.
- D) Mit einem Flugzeug unter den Wolken fliegen.

Frage 1.17 (MC)

Die Fluchtgeschwindigkeit der Erde für ein Teilchen der Masse $m = 1 \text{ kg}$ und der Ladung $q = 1 \text{ C}$ beträgt ungefähr $11.18 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Wie hoch wäre sie, wenn die Erde eine Gesamtladung von $Q = -44.3 \text{ kC}$ hätte? Die Masse der Erde ist $M = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$, ihr Radius ist $R = 6371 \text{ km}$, die Coulomb-Konstante ist $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.99 \times 10^9 \text{ kg} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{C}^{-2}$ und die Gravitationskonstante ist $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$.

- A) $15.8 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
- B) $25.4 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
- C) $38.2 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
- D) $55.1 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$

Frage 1.18 (MC)

Betrachten wir zwei Kugeln, die beide die gleiche Gesamtladung q tragen. Eine Kugel ist in ihrem gesamten Volumen gleichmässig geladen, während die andere eine leitende Kugel ist, deren Ladung nur auf ihrer Oberfläche verteilt ist. Die Kugeln können unterschiedliche Radien haben. Bestimme, welche Kugel ein stärkeres elektrisches Feld in einem Abstand d vom Mittelpunkt der Kugel erzeugt, wobei $d > R$ (der Radius der Kugel) ist.

- A) Die leitende Kugel wird ein stärkeres elektrisches Feld erzeugen.
- B) Die gleichmässig geladene Kugel wird ein stärkeres elektrisches Feld erzeugen.
- C) Die Kugel mit dem grösseren Radius wird ein stärkeres elektrisches Feld erzeugen.
- D) Die Kugel mit dem kleineren Radius wird ein stärkeres elektrisches Feld erzeugen.
- E) Das elektrische Feld ist für beide Kugeln gleich gross.

Frage 1.19 (MC)

Die Köchin Clara möchte ihr Essen so schnell wie möglich erhitzen. Sie beschliesst, ihr Induktionskochfeld zu benutzen, das ein wechselndes Magnetfeld erzeugt, um Ströme in Metalltöpfen zu induzieren. Was würden Sie ihr vorschlagen?

- A) Stellen Sie den Topf leicht dezentriert auf das Induktionskochfeld.
- B) Verwendung eines Topfes aus einem nicht leitenden Material wie Glas.
- C) Verwendung eines Topfes aus einem gut leitenden Material wie Kupfer.
- D) Verwendung eines kleineren Topfbodens, der weniger vom Magnetfeld des Kochfeldes abdeckt.

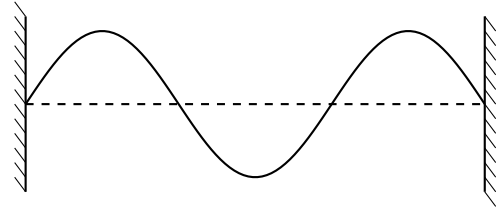
Frage 1.20 (MC)

Es ist bekannt, dass man ein Weinglas mit dem richtigen Geräusch zerbrechen kann. Was passiert mit dem Geräusch, das nötig ist, um das Glas zu zerbrechen, wenn man es teilweise mit Wasser füllt?

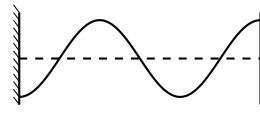
- A) Die Frequenz steigt.
- B) Die Frequenz sinkt.
- C) Nur die erforderliche Intensität ändert sich.
- D) Es ändert sich nichts.

Frage 1.21 (MC)

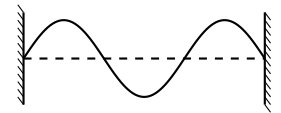
Das Bild zeigt eine stehende Welle auf einer Schnur zwischen zwei Wänden zum Zeitpunkt $t = 0$ s. Die Saite schwingt mit einer Frequenz von 100 Hz. Welches der folgenden Bilder zeigt den Zustand der Saite zum Zeitpunkt $t = 10$ ms?



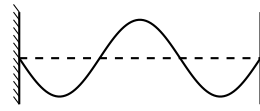
A)



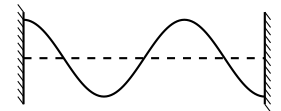
B)



C)



D)



Multiple Choice: Antwortblatt

Gebe deine Antworten in den dafür vorgesehenen Kästchen auf dieser Seite an.

Nachname:	Vorname:	Total:
------------------	-----------------	---------------

	A	B	C	D	E	F
Frage 1.1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Frage 1.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Frage 1.6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Frage 1.8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Frage 1.14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.15	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.17	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Frage 1.19	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.21	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

Multiple Choice: Lösungen

	A	B	C	D	E	F
Frage 1.1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Frage 1.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Frage 1.4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Frage 1.6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Frage 1.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Frage 1.8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Frage 1.12	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Frage 1.14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Frage 1.15	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.16	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.17	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Frage 1.19	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.20	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 1.21	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		



**PHYSICS.
OLYMPIAD.CH**

PHYSIK-OLYMPIADE
OLYMPIADES DE PHYSIQUE
OLIMPIADI DELLA FISICA

Physik-Olympiade

Zweite Runde

15. Januar 2025

Teil 2 : 3 lange Aufgaben

Zeit : 120 Minuten

Total : 48 Punkte (3×16)

Erlaubte Hilfsmittel : Einfacher Taschenrechner

Schreib- und Zeichenmaterial

Viel Erfolg!

Supported by :



Naturkonstanten

Cäsium-Hyperfeinfrequenz	$\Delta\nu_{\text{Cs}}$	9.192 631 770	$\times 10^9$	s^{-1}
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	c	2.997 924 58	$\times 10^8$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Planck-Konstante	h	6.626 070 15	$\times 10^{-34}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Elementarladung	e	1.602 176 634	$\times 10^{-19}$	$\text{A} \cdot \text{s}$
Boltzmann-Konstante	k_{B}	1.380 649	$\times 10^{-23}$	$\text{K}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
Avogadro-Konstante	N_{A}	6.022 140 76	$\times 10^{23}$	mol^{-1}
Photometrisches Strahlungsäquivalent	K_{cd}	6.83	$\times 10^2$	$\text{cd} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^3 \cdot \text{sr}$
Magnetische Konstante	μ_0	1.256 637 062 12(19)	$\times 10^{-6}$	$\text{A}^{-2} \cdot \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Elektrische Konstante	ε_0	8.854 187 812 8(13)	$\times 10^{-12}$	$\text{A}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^4$
Gaskonstante	R	8.314 462 618...		$\text{K}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
Stefan-Boltzmann-Konstante	σ	5.670 374 419...	$\times 10^{-8}$	$\text{K}^{-4} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$
Gravitationskonstante	G	6.674 30(15)	$\times 10^{-11}$	$\text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$
Elektronenmasse	m_{e}	9.109 383 701 5(28)	$\times 10^{-31}$	kg
Neutronenmasse	m_{n}	1.674 927 498 04(95)	$\times 10^{-27}$	kg
Protonenmasse	m_{p}	1.672 621 923 69(51)	$\times 10^{-27}$	kg
Normfallbeschleunigung	g_{n}	9.806 65		$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

Lange Aufgaben

Zeit: 120 Minuten

Maximalpunktzahl: 48 Punkte (3×16)

Beginne jede Aufgabe auf einem neuen Blatt, um das Korrigieren zu erleichtern.

Allgemeiner Hinweis: Die Aufgaben bestehen aus zum Teil unabhängigen Teilaufgaben, falls Du stecken bleibst lohnt es sich weiterzulesen und bei einer einfacheren Teilaufgabe wieder einzusteigen.

Lange Aufgabe 2.1: Schiffshebewerk Strépy-Thieu (16 Punkte)

Der Schiffshebewerk Strépy-Thieu ist eine Infrastruktur, die zwei Kanäle in Belgien miteinander verbindet. Es besteht aus zwei unabhängigen, mit Gegengewichten verbundenen Senkkästen, von denen jeder ein grosses Schiff mit Gewicht von 1350 Tonnen transportieren kann. Die folgende Abbildung zeigt die Grundstruktur eines dieser Senkkästen. *Bemerkung: Die Zahlenwerte in dieser Aufgabe wurden angepasst und entsprechen nicht vollständig der Realität. Wenn Du ein bereits erhaltenes Ergebnis verwendest, rechne immer mit der genauen Zahl weiter.*

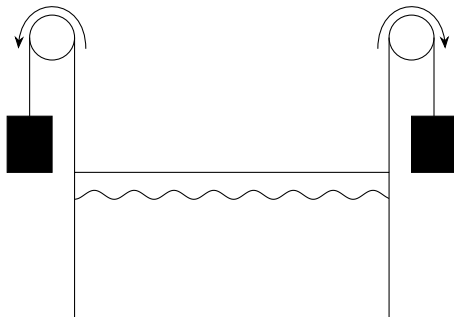


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Teiles des Hebewerks. Man sieht die Gegengewichte in schwarz und den Senkkasten, in dem sich das Boot befindet, in der Mitte. Die Verbindung zwischen diesen beiden sind die Seile, die sich um Zylinder wickeln.

Teil A. Statik (5.5 Punkte)

Wir wollen zunächst einige Eigenschaften des Systems im Ruhezustand ableiten. Ein Senkkasten hat die Innenabmessungen $112 \text{ m} \times 12 \text{ m}$ und eine Wassertiefe von 4 m . Er ist an 112 Tragseilen und 32 Steuerseilen aufgehängt, wobei letztere auch zum Bewegen des Senkkastens verwendet werden.

i. (1 Pkt.) Wie hoch ist das Gesamtmasse des Wassers im Inneren des Senkkastens, wenn kein Boot vorhanden ist?

ii. (1 Pkt.) Wenn man weiss, dass ein leerer Senkkasten 3000 t wiegt und dass die Gegengewichte genau der Gesamtmasse des vollen Senkkastens entsprechen, kann man die Spannung T in jedem der Seile berechnen (= Kraft, die von jedem der Seile getragen wird). Berechne die Spannung T . Geh davon aus, dass alle Seile die gleiche Spannung haben.

iii. (1.5 Pkte.) Der Aufzug ist für Boote bis zu 1350 t ausgelegt. Berechne das Wasservolumen, das den Senkkasten verlässt, wenn ein solches Boot einfährt. Erkläre Dein Ergebnis. Geh davon aus, dass der Wasserstand konstant bleibt.

iv. (2 Pkte.) Der Senkkasten hat an jedem (schmalen) Ende eine Tür, die den gesamten Querschnitt des Wassers überspannt. Berechne die Kraft, mit der das Wasser auf jede Tür drückt.

Teil B. Dynamik (7 Punkte)

Wir wollen nun, dass sich der Senkkasten bewegt, um die Boote zu transportieren.

i. (1 Pkt.) Die Steuerseile können einer maximalen Spannung von 600 kN standhalten. Berechne die maximale Beschleunigung, die möglich ist, bevor die Seile reißen.

Wir betrachten nun ein Seil, das um einen Zylinder gewickelt wird, und wollen die zusätzliche Kraft berechnen, die durch die Reibung entsteht. Mit anderen Worten, wir wollen die Beziehung zwischen der Spannung T_{Last} auf der einen Seite des Seils, der Spannung T_{Halt} auf der anderen Seite, dem Reibungskoeffizienten μ und dem Gesamtwinkel φ (angegeben in Radiant), den das Seil um den Zylinder schlägt, finden.

ii. (1 Pkt.) Beschreibe die Änderung δF_N der Normalkraft (des Seils auf dem Zylinder), die durch eine kleine Änderung $\delta\varphi$ des Winkels, den das Seil überstreicht, verursacht wird. Geh von einer Spannung T_{Last} auf dem Seil aus und verwende geeignete Vereinfachungen.

iii. (3 Pkte.) Wie hängt die Änderung der Spannung pro kleinem Winkel $\frac{dT_{\text{Last}}(\varphi)}{d\varphi}$ von der Spannung und der Reibung ab, wenn man das vorherige Ergebnis verwendet? Gib an, wie gross $T_{\text{Last}}(\varphi)$ sein muss, wenn $\varphi = 0$. Dies ist nun eine Differentialgleichung. Du brauchst sie nicht zu lösen.

Jedes Steuerseil wickelt sich um ein motorisiertes Rad, das den Aufzug antreibt. Die Wirkung der Reibung auf ein um einen Zylinder gewickeltes Seil kann mit der folgenden Gleichung berechnet werden, die die Lösung der oben abgeleiteten Differentialgleichung ist:

$$T_{\text{Last}} = T_{\text{Halt}} \cdot e^{\mu\varphi}. \quad (\text{B.1})$$

iv. (2 Pkte.) Berechne die minimale Anzahl von Windungen, die für jedes Steuerseil erforderlich sind, um die maximale Beschleunigung zu erreichen, ohne dass das Seil durchrutscht. Der Reibungskoeffizient von Stahl auf Stahl ist 0.78. *Hinweis: Denk an die Konfiguration des Systems*

Teil C. Energetik (3.5 Punkte)

Abschliessend wollen wir noch einige Überlegungen zur verwendeten Energie anstellen.

Der Aufzug hat eine maximale Geschwindigkeit von $0.2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ und eine Höhe von 73.15m. Er wird von Elektromotoren angetrieben, die auch als Generatoren verwendet werden können, um ihn abzubremesen. Der Wirkungsgrad dieser Motoren ist geringer, wenn sie als Generatoren verwendet werden:

$$\eta_{\text{generator}} = 0,7\eta_{\text{motor}}. \quad (\text{C.1})$$

Die durch Reibung verursachte Energiedissipation kann für diesen Teil vernachlässigt werden.

i. (1 Pkt.) Berechne die Gesamtenergie, die für einen Aufstieg des Senkkastens effektiv benötigt wird.

ii. (1 Pkt.) Welche Wassermasse könnte man mit dieser Energie zum Kochen bringen? Das Wasser hat eine Ausgangstemperatur von 18°C und eine spezifische Wärmekapazität von $c = 4.18\text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}$. *Tipp: Wenn Du die Antwort auf die vorherige Frage nicht gefunden hast, verwende stattdessen 100kJ.*

iii. (1.5 Pkte.) Berechne die durchschnittlich benötigte Leistung während der Beschleunigungsphase. Du kannst davon ausgehen, dass die Beschleunigungsänderung augenblicklich erfolgt und dass wir nur die Hälfte der maximalen Beschleunigung verwenden, um eine Sicherheitsmarge zu erhalten.

Lange Aufgabe 2.2: Flüssigkristalle (16 Punkte)

Einige Flugzeugfenster können ihre Transparenz mit Hilfe der Flüssigkristalltechnologie einstellen, die steuert, wie viel Licht durchgelassen wird. Dies geschieht durch die Einstellung der Polarisation des durchfallenden Lichts. Als Polarisation bezeichnet man die Schwingungsrichtung des elektrischen Feldes des Lichts (das eine elektromagnetische Welle ist). Die Polarisation steht immer senkrecht zur Ausbreitungsrichtung und kann daher durch einen Vektor in der Ebene senkrecht zur Ausbreitungsrichtung dargestellt werden. Wenn Licht mit der Intensität I einen linearen Polarisator durchläuft, ist die übertragene Lichtintensität I_t im Allgemeinen gegeben durch

$$I_t = I \cos^2(\alpha), \quad (1)$$

wobei α der Winkel zwischen der Polarisationsrichtung des einfallenden Lichts und der Übertragungsachse des zweiten Polarisators ist.

Teil A. Systemskizze (4 Punkte)

Zunächst durchläuft das Licht einen statischen linearen Polarisator, der die Polarisationsrichtung des Lichts festlegt. Dann durchläuft das Licht eine Flüssigkristallschicht, die die Polarisation des Lichts je nach dem angelegten elektrischen Feld um einen Winkel $\Delta\phi$ ändert. In seinem Grundzustand (kein Feld) dreht der Flüssigkristall die Polarisation um einen Winkel $\Delta\phi_0$. Wenn ein elektrisches Feld angelegt wird, verringert sich der Drehwinkel. Schliesslich durchläuft das Licht einen zweiten linearen Polarisator, der sich in einem Abstand d befindet und in einem Winkel $\theta = 90^\circ$ zum ersten ausgerichtet ist, wodurch die endgültige Intensität des durchgelassenen Lichts bestimmt wird.

i. (2 Pkte.) Skizziere das System, beschrifte den Abstand zwischen den Filtern und beschrifte die Intensitäten der einzelnen Stufen (du musst die eingeführten Intensitäten noch nicht berechnen, siehe folgende Aufgaben).

ii. (1 Pkt.) Beschreibe mit eigenen Worten den Polarisationszustand des einfallenden Lichts.

iii. (1 Pkt.) Beschreibe mit eigenen Worten den Polarisationszustand des austretenden Lichts.

Teil B. Verhalten als Kondensator (3 Punkte)

Die Flüssigkristallschicht hat eine Dicke von $d = 5 \mu\text{m}$ und eine maximal anlegbare Spannung von $V_{\text{max}} = 12 \text{ V}$. Die relative Dielektrizitätskonstante des Flüssigkristalls ist $\epsilon_r = 10$.

Anmerkung: Wir vernachlässigen im Folgenden Randeffekte.

i. (2 Pkte.) Berechne die elektrische Feldstärke E_{max} , die zwischen den beiden Polarisatoren über der Flüssigkristallschicht anliegt, wenn die maximale Spannung angelegt wird.

ii. (1 Pkt.) Bestimme die Kapazität C einer 0.125 m^2 Fläche der Flüssigkristallschicht.

Teil C. Einstellen der Intensität (6 Punkte)

In diesem System wird der Winkel α durch die Polarisationsänderung aufgrund des Flüssigkristalls ($\Delta\phi$) und durch die Ausrichtung des zweiten Polarisators bestimmt. Wir haben

$$\alpha = \theta - \Delta\phi, \quad (\text{C.1})$$

wobei die durch den Flüssigkristall verursachte Polarisationsänderung $\Delta\phi$ von der angelegten Spannung abhängt und näherungsweise wie folgt berechnet wird

$$\Delta\phi = \Delta\phi_0 \left(1 - \frac{V}{V_{\text{max}}}\right), \quad (\text{C.2})$$

wobei $V_{\text{max}} = 12 \text{ V}$ die Polarisationsdrehung vollständig eliminiert.

Anmerkung: Wir vernachlässigen die Reflexionen (die aufgrund des grossen ϵ_r vorhanden wären).

i. (2 Pkte.) Wie hoch ist die Lichtintensität I_{LC} nach dem ersten linearen Polarisator in Bezug auf die Intensität des einfallenden Lichts I_0 ?

ii. (1 Pkt.) Du möchtest ein Fenster mit maximaler Transparenz haben. Wenn du den Wert $\Delta\phi_0 \in (0, 2\pi)$ frei wählen könntest, auf welchen Wert würdest du ihn setzen? Verwende diesen Wert für alle folgenden Teilaufgaben. Wenn du den optimalen Wert nicht finden kannst, gib den angenommenen numerischen Wert an, den du in den folgenden Teilaufgaben für weitere Berechnungen verwendest.

iii. (3 Pkte.) Berechne die Spannung V_1 , die angelegt werden muss, um die Intensität des durchgelassenen Lichts um 70% in Bezug auf das einfallende Licht zu verringern.

Teil D. Rechner-Bildschirme (3 Punkte)

Die gleiche Technologie wird in den Displays vieler Taschenrechner verwendet. Der einzige begriffliche Unterschied besteht darin, dass an einer Seite des Systems ein Spiegel angebracht ist. Das Licht durchläuft das System also zweimal.

i. (2 Pkte.) Welche Spannung V_2 muss in diesem Fall angelegt werden, um die Intensität um 70% in Bezug auf das einfallende Licht zu verringern?

ii. (1 Pkt.) Wie hoch ist der Wert des Bruches $\frac{V_1}{V_2}$?

Lange Aufgabe 2.3: Voltmeter (16 Punkte)

Ein Voltmeter ist ein Gerät, welches zum Messen von Spannungen in einem Stromkreis benutzt wird. Die Anwendung des Voltmeters in der Praxis beruht auf einigen theoretischen Grundlagen. In dieser Aufgabe wirst du entdecken, wie ein Voltmeter funktionieren kann und worauf man in der Praxis achten muss, wenn man ein Voltmeter verwendet.

Teil A. Spannungen berechnen (4.5 Punkte)

Betrachte den Stromkreis in Abb. A.1. In einem ersten Schritt wollen wir die Spannung über den verschiedenen Widerständen berechnen. Wir setzen eine Spannung $V_0 = 10\text{ V}$ an und wissen die Werte der Widerstände ($R_1 = 10\text{ M}\Omega$, $R_2 = 500\text{ k}\Omega$ und $R_3 = 750\text{ k}\Omega$).

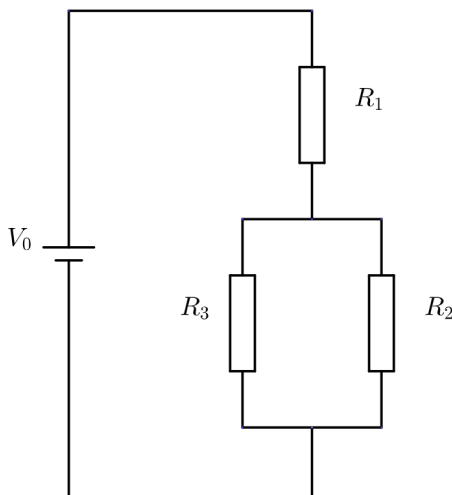


Abbildung A.1: Stromkreis mit angelegter Spannung V_0 und Widerständen R_1 , R_2 und R_3 .

- i. (2 Pkte.)** Berechne die Spannungen U_1 , U_2 und U_3 über die jeweiligen Widerstände R_1 , R_2 und R_3 .
- ii. (1 Pkt.)** Nun betrachten wir den Stromkreis in Abb. A.2. Wir betrachten diesen Stromkreis für zwei verschiedene Versuchsanordnungen A und B. Die beiden Versuchsanordnungen unterscheiden sich nur durch die Werte für die Widerstände R_1 und R_2 . Berechne die Spannung U_2 über dem Widerstand R_2 für die beiden verschiedene Versuchsanordnungen A und B:

- $R_1^{(A)} = 10\text{ k}\Omega$ und $R_2^{(A)} = 50\text{ k}\Omega$,

- $R_1^{(B)} = 10\text{ M}\Omega$ und $R_2^{(B)} = 50\text{ M}\Omega$.

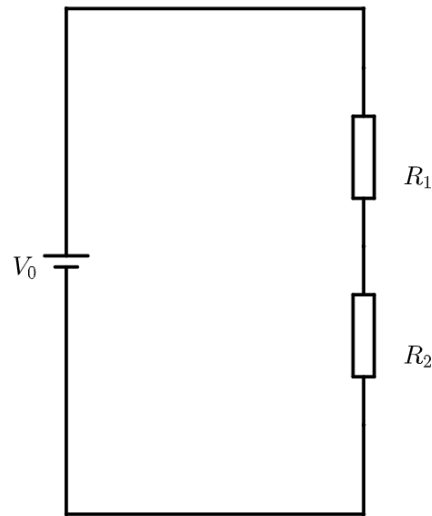


Abbildung A.2: Stromkreis mit angelegter Spannung V_0 und Widerständen R_1 und R_2 .

- iii. (1.5 Pkte.)** Was fällt bei der berechneten Spannung U_2 in beiden Versuchsanordnungen A und B auf? Begründe mathematisch, weshalb dies so ist.

Teil B. Innenwiderstand eines Voltmeters (6 Punkte)

Ein Voltmeter ist ein Messinstrument um Spannungen zu messen. Idealerweise führt die Messung zu keinem Strom im Voltmeter. In realen Instrumenten ist die Isolation und Messung jedoch nicht perfekt, sodass dennoch ein Strom fließt. Dieser Strom wird mit einem Widerstand im Voltmeter, dem sogenannten Innenwiderstand, beschrieben. In dieser Teilaufgabe betrachten wir den Stromkreis in Abb. A.2 und berechnen dadurch den Innenwiderstand des Voltmeters.

- i. (2 Pkte.)** Zeichne eine Skizze, wie man ein Voltmeter an den Stromkreis in Abb. A.2 anschliesst, um die Spannung über R_2 zu messen. Begründe die Wahl.
- ii. (3 Pkte.)** In einem Experiment haben wir beide Versuchsanordnungen nachgebaut und jeweils die Spannung über R_2 mit demselben Voltmeter gemessen. Dabei haben wir folgende Werte erhalten

- A) $\tilde{U}_2^A = 8.33\text{ V}$,

- B) $\tilde{U}_2^B = 7.14 \text{ V}$.

Berechne den Innenwiderstand R_i des Voltmeters.

iii. (1 Pkt.) Was soll für den Innenwiderstand R_i im Vergleich zu jenem, den man messen will, für präzise Messungen gelten?

Teil C. Elektroskop (5.5 Punkte)

Ein analoges Voltmeter kann mittels eines Elektroskops dargestellt werden. In den nächsten Teilaufgaben betrachten wir deshalb ein Elektroskop wie es in C.1 dargestellt ist. Das Elektroskop besteht aus zwei Platten, durch die beim Anlegen einer Spannung ein Feld entsteht. An einer der Platten ist ein leitender Zeiger befestigt, der sich frei drehen kann. Wir nehmen für die folgenden Aufgaben an, dass das Feld E zwischen den beiden Platten homogen ist. Die Platten haben Fläche A und haben die positive Ladung Q beziehungsweise die negative Ladung $-Q$. Der Zeiger hat die positive kleine Ladung q . Wir nehmen zudem an, dass sich die gesamte Ladung q und die gesamte Masse m des Zeigers in seiner Spitze befindet.

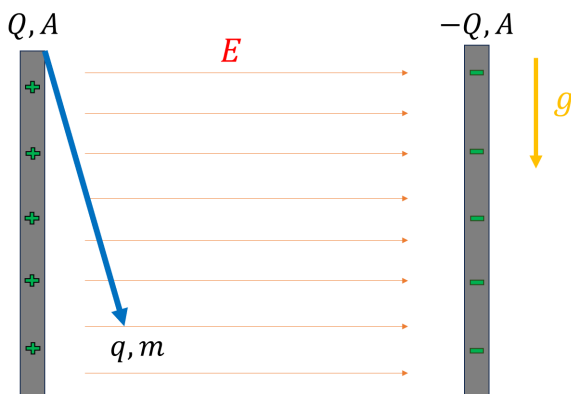


Abbildung C.1: Skizze des Elektroskops. Links und rechts sind die Platten mit Ladungen Q und $-Q$. Beide Platten haben die Fläche A . Der blaue Zeiger hat Ladung q und Masse m , wobei wir beides als Punktmasse beziehungsweise Punktladung in der Spitze des Zeigers annehmen. Das elektrische Feld E , in der Skizze rot dargestellt, zwischen den beiden Platten ist homogen.

i. (0.5 Pkte.) Erkläre weshalb sich der Zeiger bewegt.

ii. (1 Pkt.) Welche Bedingung muss erfüllt sein, wenn sich der Zeiger nicht mehr in tangentialer Richtung bewegt? Beschreibe mit Hilfe einer Skizze.

iii. (2 Pkte.) Berechne aus der Gleichgewichtsbedingung für die tangentiale Richtung den Auslenkungswinkel α in Abhängigkeit der vorhandenen Kräfte.

iv. (1.5 Pkte.) Berechne die elektrische Kraft auf die Spitze in Abhängigkeit der Ladungen Q auf der Platte, der Ladung q auf der Spitze sowie der Plattenfläche A .

v. (0.5 Pkte.) Berechne nun den Auslenkungswinkel für folgende Werte:

- $m = 200 \text{ g}$,
- $q = 0.001 \mu\text{C}$,
- $Q = 30 \mu\text{C}$,
- $A = 1.5 \text{ dm}^2$,
- $\epsilon = \epsilon_0$.

Lange Aufgaben: Lösungen

Lange Aufgabe 2.1: Schiffshebewerk Strépy-Thieu

16

Der Schiffshebewerk Strépy-Thieu ist eine Infrastruktur, die zwei Kanäle in Belgien miteinander verbindet. Es besteht aus zwei unabhängigen, mit Gegengewichten verbundenen Senkkästen, von denen jeder ein grosses Schiff mit Gewicht von 1350 Tonnen transportieren kann. Die folgende Abbildung zeigt die Grundstruktur eines dieser Senkkästen. *Bemerkung: Die Zahlenwerte in dieser Aufgabe wurden angepasst und entsprechen nicht vollständig der Realität. Wenn Du ein bereits erhaltenes Ergebnis verwendest, rechne immer mit der genauen Zahl weiter.*

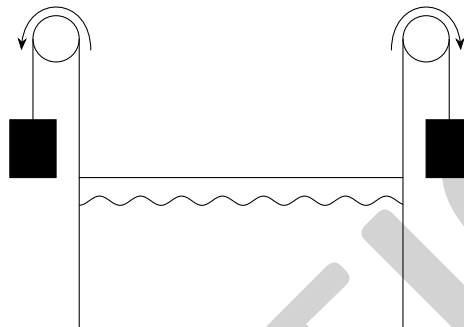


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Teiles des Hebewerks. Man sieht die Gegengewichte in schwarz und den Senkkasten, in dem sich das Boot befindet, in der Mitte. Die Verbindung zwischen diesen beiden sind die Seile, die sich um Zylinder wickeln.

Teil A. Statik

5.5

Wir wollen zunächst einige Eigenschaften des Systems im Ruhezustand ableiten. Ein Senkkasten hat die Innenabmessungen $112\text{ m} \times 12\text{ m}$ und eine Wassertiefe von 4 m . Er ist an 112 Tragseilen und 32 Steuerseilen aufgehängt, wobei letztere auch zum Bewegen des Senkkastens verwendet werden.

i. Wie hoch ist die Gesamtmasse des Wassers im Inneren des Senkkastens, wenn kein Boot vorhanden ist?

1

$$m = \rho V = \rho \cdot \text{Length} \cdot \text{Width} \cdot \text{Height} \quad (\text{A.1})$$

For water, $\rho = 1000\text{ kilogram/m}^3$. The total water mass is then $5\,376\,000\text{ kg}$. Also accepted are solutions of the form $5.4 \cdot 10^6\text{ kg}$. However, we require to continue working with the exact result.

1

ii. Wenn man weiss, dass ein leerer Senkkasten 3000 t wiegt und dass die Gegengewichte genau der Gesamtmasse des vollen Senkkastens entsprechen, kann man die Spannung T in jedem der Seile berechnen (= Kraft, die von jedem der Seile getragen wird). Berechne die Spannung T . Geh davon aus, dass alle Seile die gleiche Spannung haben.

1

The tension in one cable is equal to the gravitational pull of the caisson divided by the number of cables.

$$T = m_{\text{caisson+water}}g/(112 + 32) = 570420\text{ N} = 570\text{ kN} \quad (\text{A.2})$$

We do not accept $6 \cdot 10^5 \text{N}$. Doubling the value because the caisson and the counterweight pull down is wrong. 0.5 points for that.

1

iii. Der Aufzug ist für Boote bis zu 1350t ausgelegt. Berechne das Wasservolumen, das den Senkkasten verlässt, wenn ein solches Boot einfährt. Erkläre Dein Ergebnis. Geh davon aus, dass der Wasserstand konstant bleibt.

1.5

According to Archimede's Principle, the volume of liquid displaced is so that it's mass is equal to the mass of the floating object. Since water has a density of $1000 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, the displaced volume is exactly 1350m^3 . We give 1 point for the numerical result, 0.5 points for the explanation (either just the name Archimede's Principle or a description of it).

1.5

iv. Der Senkkasten hat an jedem (schmalen) Ende eine Tür, die den gesamten Querschnitt des Wassers überspannt. Berechne die Kraft, mit der das Wasser auf jede Tür drückt.

2

The force exerted on the door is given by the pressure of the water multiplied with the area of the door. The difficulty here is that the pressure is not constant over the whole door.

The pressure at a given depth is given by:

$$p = \rho gh \quad (\text{A.3})$$

with h being the depth.

0.5

Therefore, the total force on the door is:

$$F_{\text{Door}} = \int_0^4 p \cdot 12 \text{d}h = \int_0^4 12\rho gh \text{d}h \quad (\text{A.4})$$

1

For water, we can again use $\rho = 1000 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$. This results in a total force of $F_{\text{Door}} = 941438.1 \text{N} \approx 940 \text{kN}$. We accept also different roundings, as long as it makes sense (e.g. $9 \cdot 10^5$ does NOT make sense).

0.5

Teil B. Dynamik

7

Wir wollen nun, dass sich der Senkkasten bewegt, um die Boote zu transportieren.

i. Die Steuerseile können einer maximalen Spannung von 600kN standhalten. Berechne die maximale Beschleunigung, die möglich ist, bevor die Seile reißen.

1

The cables have a tension of 570.420kN while at rest (see previous question). We therefore have $(600 - 570.420) \text{kN} = 29.580 \text{kN}$ of force available for the acceleration.

0.5

The acceleration can then be calculated using Newton's second law: $F = ma$. We have 32 control cables, Therefore, we get:

$$a_{\text{max}} = \frac{F}{m_{\text{caisson}} + m_{\text{water}}} = \frac{32 \cdot 29580 \text{N}}{8376000 \text{kg}} = 0.113 \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (\text{B.1})$$

The students also get this 0.5 points if they are missing the 570.420kN from the previous question but still set up the correct equation.

0.5

Wir betrachten nun ein Seil, das um einen Zylinder gewickelt wird, und wollen die zusätzliche Kraft berechnen, die durch die Reibung entsteht. Mit anderen Worten, wir wollen die Beziehung zwischen der Spannung T_{Last} auf der einen Seite des Seils, der Spannung T_{Halt} auf der anderen Seite, dem Reibungskoeffizienten μ und dem Gesamtwinkel φ (angegeben in Radiant), den das Seil um den Zylinder schlägt, finden.

ii. Beschreibe die Änderung δF_N der Normalkraft (des Seils auf dem Zylinder), die durch eine kleine Änderung $\delta\varphi$ des Winkels, den das Seil überstreicht, verursacht wird. Geh von einer Spannung T_{Last} auf dem Seil aus und verwende geeignete Vereinfachungen. 1

Depending on the geometrical derivation, one might get these two possible approximations. We accept both:

$$\delta F_N \approx T_{\text{Load}} \sin(\delta\varphi) \approx T_{\text{Load}} \delta\varphi. \quad (\text{B.2})$$

Or

$$\delta F_N \approx 2T_{\text{Load}} \sin\left(\frac{\delta\varphi}{2}\right) \approx T_{\text{Load}} \delta\varphi. \quad (\text{B.3})$$

Only 0.5 points if the small-angle approximation is missing or only the answer without intermediate step is given. 1

iii. Wie hängt die Änderung der Spannung pro kleinem Winkel $\frac{dT_{\text{Last}}(\varphi)}{d\varphi}$ von der Spannung und der Reibung ab, wenn man das vorherige Ergebnis verwendet? Gib an, wie gross $T_{\text{Last}}(\varphi)$ sein muss, wenn $\varphi = 0$. Dies ist nun eine Differentialgleichung. Du brauchst sie nicht zu lösen. 3

Going to infinitesimal elements, the result from above is:

$$dF_N = T_{\text{Load}}(\varphi) d\varphi. \quad (\text{B.4})$$

This leads to the following differential equation:

$$\frac{dF_N}{d\varphi} = T_{\text{Load}}(\varphi). \quad (\text{B.5})$$

On the verge of slipping, the (additional) tension which can be applied to one side of the cable is given by the friction force. This is in turn given by μF_N . 0.5

Combining these results, we can get the following result by multiplying both side of the differential equation with μ and substituting T_{Load} :

$$\frac{dT_{\text{Load}}(\varphi)}{d\varphi} = \mu T_{\text{Load}}(\varphi). \quad (\text{B.6})$$

The initial condition can be easily deduced by considering the case of $\varphi = 0$, corresponding to not wrapping the cable around the cylinder at all. Then, the tension on one side of the cable must trivially be the same as the other side: $T_{\text{Load}}(0) = T_{\text{Hold}}$. 1

Jedes Steuerseil wickelt sich um ein motorisiertes Rad, das den Aufzug antreibt. Die Wirkung der Reibung auf ein um einen Zylinder gewickeltes Seil kann mit der folgenden Gleichung berechnet werden, die die Lösung der oben abgeleiteten Differentialgleichung ist:

$$T_{\text{Last}} = T_{\text{Halt}} \cdot e^{\mu\varphi}. \quad (\text{B.7})$$

iv. Berechne die minimale Anzahl von Windungen, die für jedes Steuerseil erforderlich sind, um die maximale Beschleunigung zu erreichen, ohne dass das Seil durchrutscht. Der

Reibungskoeffizient von Stahl auf Stahl ist 0.78. Hinweis: Denk an die Konfiguration des Systems

2

In our case, T_{Load} will be the 600kN while T_{Hold} is given by the tension needed to “slow down” the counterweights in their fall: $T_{\text{Hold}} = (570.420 - 29.580) \text{ kN} = 540.840 \text{ kN}$.

0.5

The equation solved for φ is:

$$\varphi = \frac{\log\left(\frac{T_{\text{Hold}}}{T_{\text{Load}}}\right)}{\mu}. \quad (\text{B.8})$$

Here, log is the natural log.

0.5

We obtain the numerical result

$$\varphi = \frac{\log\left(\frac{600000\text{N}}{540840\text{N}}\right)}{0.15} = 0.692 \quad (\text{B.9})$$

0.5

The numerical value is between $\pi/5$ and $\pi/4$, which would correspond to 1/9 of a turn. However, due to the fact that both end of the cables have to go downwards to the caisson or counterweight, we need at least half a turn. The reasoning to obtain the answer needs to be there and correct. (Taking 0.692, rounding it to 0.5 and interpreting it as the number of turn is wrong.)

0.5

Teil C. Energetik

3.5

Abschliessend wollen wir noch einige Überlegungen zur verwendeten Energie anstellen.

Der Aufzug hat eine maximale Geschwindigkeit von $0.2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ und eine Höhe von 73.15m. Er wird von Elektromotoren angetrieben, die auch als Generatoren verwendet werden können, um ihn abzubremsen. Der Wirkungsgrad dieser Motoren ist geringer, wenn sie als Generatoren verwendet werden:

$$\eta_{\text{generator}} = 0,7\eta_{\text{motor}}. \quad (\text{C.1})$$

Die durch Reibung verursachte Energiedissipation kann für diesen Teil vernachlässigt werden.

i. Berechne die Gesamtenergie, die für einen Aufstieg des Senkkastens effektiv benötigt wird.

1

The potential energy does not play a role in this, since we have a counterweight. The kinetic energy (independent whether there is a boat or not) is therefore the only one that plays a role, and we get 0.7 of it back while decelerating. The needed energy is therefore:

$$E_{\text{needed}} = 0.3 \cdot \frac{1}{2} m_{\text{caisson} + \text{water}} v_{\text{max}}^2. \quad (\text{C.2})$$

0.5

The numerical result is then:

$$E_{\text{needed}} = 0.3 \cdot \frac{1}{2} 8376000\text{kg} \cdot (0.2\text{m} \cdot \text{s}^{-1})^2 = 50256\text{J} \approx 50\text{kJ}. \quad (\text{C.3})$$

0.5

ii. Welche Wassermasse könnte man mit dieser Energie zum Kochen bringen? Das Wasser hat eine Ausgangstemperatur von 18°C und eine spezifische Wärmekapazität von $c = 4.18\text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}$.

Tipp: Wenn Du die Antwort auf die vorherige Frage nicht gefunden hast, verwende stattdessen 100kJ. 1

The energy needed to raise the temperature of a certain mass m of water by ΔT is

$$E = mc\Delta T. \quad (\text{C.4})$$

Therefore, we will use the following equation:

$$m = \frac{E}{c\Delta T}. \quad (\text{C.5})$$

0.5

In our case, $\Delta T = (100 - 18) \text{ K} = 82 \text{ K}$. This gives:

$$m = \frac{50256 \text{ J}}{4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K} \cdot 82 \text{ K}} = 0.147 \text{ kg}. \quad (\text{C.6})$$

If the 100kJ were used, the result would be 0.292kg. At least two significant digits are needed, but not overly many. 0.5

iii. Berechne die durchschnittlich benötigte Leistung während der Beschleunigungsphase. Du kannst davon ausgehen, dass die Beschleunigungsänderung augenblicklich erfolgt und dass wir nur die Hälfte der maximalen Beschleunigung verwenden, um eine Sicherheitsmarge zu erhalten. 1.5

The power needed is given by the work exerted divided by the time. The total work is equal to the final kinetic energy, since we start with no energy. Again, potential energy does not play a role. The time needed can be easily calculated from the maximal speed and the acceleration used: $t = v/(0.5a_{\max})$. Bringing all of this together, we get:

$$P = \frac{m_{\text{caisson}} + m_{\text{water}} v a_{\max}}{4}. \quad (\text{C.7})$$

1

We obtain the numerical result:

$$P = \frac{8376000 \text{ kg} \cdot 0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 0.113 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}{4} = 47328 \text{ W}. \quad (\text{C.8})$$

It is reasonable to round this to two decimal digits so $P = 47 \text{ kW}$. More are also correct. 0.5

Lange Aufgabe 2.2: Flüssigkristalle**16**

Einige Flugzeugfenster können ihre Transparenz mit Hilfe der Flüssigkristalltechnologie einstellen, die steuert, wie viel Licht durchgelassen wird. Dies geschieht durch die Einstellung der Polarisation des durchfallenden Lichts. Als Polarisation bezeichnet man die Schwingungsrichtung des elektrischen Feldes des Lichts (das eine elektromagnetische Welle ist). Die Polarisation steht immer senkrecht zur Ausbreitungsrichtung und kann daher durch einen Vektor in der Ebene senkrecht zur Ausbreitungsrichtung dargestellt werden. Wenn Licht mit der Intensität I einen linearen Polarisator durchläuft, ist die übertragene Lichtintensität I_t im Allgemeinen gegeben durch

$$I_t = I \cos^2(\alpha), \quad (1)$$

wobei α der Winkel zwischen der Polarisationsrichtung des einfallenden Lichts und der Übertragungsachse des zweiten Polarisators ist.

Teil A. Systemskizze**4**

Zunächst durchläuft das Licht einen statischen linearen Polarisator, der die Polarisationsrichtung des Lichts festlegt. Dann durchläuft das Licht eine Flüssigkristallschicht, die die Polarisation des Lichts je nach dem angelegten elektrischen Feld um einen Winkel $\Delta\phi$ ändert. In seinem Grundzustand (kein Feld) dreht der Flüssigkristall die Polarisation um einen Winkel $\Delta\phi_0$. Wenn ein elektrisches Feld angelegt wird, verringert sich der Drehwinkel. Schliesslich durchläuft das Licht einen zweiten linearen Polarisator, der sich in einem Abstand d befindet und in einem Winkel $\theta = 90^\circ$ zum ersten ausgerichtet ist, wodurch die endgültige Intensität des durchgelassenen Lichts bestimmt wird.

i. Skizziere das System, beschrifte den Abstand zwischen den Filtern und beschrifte die Intensitäten der einzelnen Stufen (du musst die eingeführten Intensitäten noch nicht berechnen, siehe folgende Aufgaben).

2

Sketch of: First polarizing filter.

0.25

Label the distance between the linear polarizers.

0.25

Sketch of: Liquid crystal, marked that it rotates the polarization axis.

0.25

Sketch of: Second polarizing filter, turned 90° with respect to the first.

0.25

Sketch of: Outcoming light.

0.25

Incoming light intensity I_0 .

0.25

Light intensity in the liquid crystal I_{LC} (assumed constant).

0.25

Outcoming light intensity I_1 .

0.25

ii. Beschreibe mit eigenen Worten den Polarisationszustand des einfallenden Lichts.

1

The incoming light is not polarized (sunlight). (To be precise: also sunlight is polarized (i.e. every EM wave is polarized) but it has an arbitrary direction and varying in time.)

1

iii. Beschreibe mit eigenen Worten den Polarisationszustand des austretenden Lichts.

1

The outcoming light is linearly polarized.

0.5

The polarization axis is the same as the polarization axis of the second filter. 0.5

Teil B. Verhalten als Kondensator 3

Die Flüssigkristallschicht hat eine Dicke von $d = 5 \mu\text{m}$ und eine maximal anlegbare Spannung von $V_{\text{max}} = 12 \text{ V}$. Die relative Dielektrizitätskonstante des Flüssigkristalls ist $\epsilon_r = 10$.

Anmerkung: Wir vernachlässigen im Folgenden Randeffekte.

i. Berechne die elektrische Feldstärke E_{max} , die zwischen den beiden Polarisatoren über der Flüssigkristallschicht anliegt, wenn die maximale Spannung angelegt wird. 2

The maximum field strength is given by

$$E_{\text{max}} = \frac{V_{\text{max}}}{d} = \frac{12 \text{ V}}{5 \mu\text{m}} = 2.4 \times 10^6 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}. \quad (\text{B.1})$$

2

ii. Bestimme die Kapazität C einer 0.125 m^2 Fläche der Flüssigkristallschicht. 1

The capacity in such a situation is given by

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}. \quad (\text{B.2})$$

Substituting with the given numerical values yields

$$C = (8.85 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}) \cdot 10 \cdot \frac{0.125 \text{ m}^2}{5 \times 10^{-6} \text{ m}} = 2.2 \mu\text{F}. \quad (\text{B.3})$$

1

Teil C. Einstellen der Intensität 6

In diesem System wird der Winkel α durch die Polarisationsänderung aufgrund des Flüssigkristalls ($\Delta\phi$) und durch die Ausrichtung des zweiten Polarisators bestimmt. Wir haben

$$\alpha = \theta - \Delta\phi, \quad (\text{C.1})$$

wobei die durch den Flüssigkristall verursachte Polarisationsänderung $\Delta\phi$ von der angelegten Spannung abhängt und näherungsweise wie folgt berechnet wird

$$\Delta\phi = \Delta\phi_0 \left(1 - \frac{V}{V_{\text{max}}}\right), \quad (\text{C.2})$$

wobei $V_{\text{max}} = 12 \text{ V}$ die Polarisationsdrehung vollständig eliminiert.

Anmerkung: Wir vernachlässigen die Reflexionen (die aufgrund des grossen ϵ_r vorhanden wären).

i. Wie hoch ist die Lichtintensität I_{LC} nach dem ersten linearen Polarisator in Bezug auf die Intensität des einfallenden Lichts I_0 ? 2

Assume uniform polarization angle probability distribution for the incoming light. 0.5

So,

$$I_t = \sum_{\alpha} p(\alpha \in [\alpha, \alpha + \epsilon]) I \cos^2(\alpha) \quad (\text{C.3})$$

or

$$I_t = \int_0^{2\pi} p(\alpha) I \cos^2(\alpha) d\alpha \quad (\text{C.4})$$

	0.5
One obtains $I_{LC} = \frac{I_0}{2}$. Give all points for the derivation, if this formula is correct.	0.5
The student clearly states that $I_{LC} < I_0$. Alternatively full points are given, if the numerical solution fullfills the above statement (no points are attributed for follow up errors).e	0.25
The student clearly states that $I_{LC} > 0$. Alternatively full points are given, if the numerical solution fullfills the above statement (no points are attributed for follow up errors).	0.25
ii. Du möchtest ein Fenster mit maximaler Transparenz haben. Wenn du den Wert $\Delta\phi_0 \in (0, 2\pi)$ frei wählen könntest, auf welchen Wert würdest du ihn setzen? Verwende diesen Wert für alle folgenden Teilaufgaben. Wenn du den optimalen Wert nicht finden kannst, gib den angenommenen numerischen Wert an, den du in den folgenden Teilaufgaben für weitere Berechnungen verwendest.	1
It is has to be equal the angle difference of the two linear polarizers. Thus we have $\Delta\phi_0 = \theta = 90^\circ$.	1
iii. Berechne die Spannung V_1, die angelegt werden muss, um die Intensität des durchgelassenen Lichts um 70% in Bezug auf das einfallende Licht zu verringern.	3
Realize it is a combination of the ‘unpolarized’ to ‘linearly polarized’ and the misalignment of the linear polarized light with the second filter.	0.5
Provide the statement $I_{LC} = \frac{I_0}{2} \cos^2 \alpha$.	0.25
State that $0.3 = \frac{I_1}{I_0} = \frac{1}{2} \cos^2 \alpha_1$.	0.25
Solve for $\alpha_1 = \arccos(\sqrt{0.3 \cdot 2})$.	0.25
State that $\alpha_1 = \theta - \Delta\phi_0 \left(1 - \frac{V}{V_{\max}}\right)$.	
Optionally: provide a numerical answer $\alpha_1 = 39^\circ$.	0.25
Solve for $V = V_{\max} \left(1 - \frac{\theta - \alpha_1}{\Delta\phi_0}\right)$. If the final formula is correct, give full points to all above derivation subtasks.	0.5
Provide the numerical answer $V_1 = 5.2 \text{ V}$.	0.5
The student clearly states that $V_1 > 0 \text{ V}$ Alternatively full points are given, if the numerical solution fullfills the above statement (no points are attributed for follow up errors).	0.25
The student clearly states that $V_1 < V_{\max}$ Alternatively full points are given, if the numerical solution fullfills the above statement (no points are attributed for follow up errors).	0.25
Teil D. Rechner-Bildschirme	3
Die gleiche Technologie wird in den Displays vieler Taschenrechner verwendet. Der einzige begriffliche Unterschied besteht darin, dass an einer Seite des Systems ein Spiegel angebracht ist. Das Licht durchläuft das System also zweimal.	

i. Welche Spannung V_2 muss in diesem Fall angelegt werden, um die Intensität um 70% in Bezug auf das einfallende Licht zu verringern? **2**

Realize its a combination of the ‘unpolarized’ to ‘linearly polarized’ and the misalignment of the linearly polarized light with the second filter and on the way back the misalignment of the linearly polarized light with the first filter.

Provide the statement $I_2 = \frac{I_0}{2} \cos^2(\alpha_2) \cos^2(\alpha_2)$. 0.25

State that $0.3 = \frac{I_2}{I_0} = \frac{1}{2} \cos^2(\alpha_2) \cos^2(\alpha_2)$.

Solve for $\alpha_2 = \arccos(\sqrt[4]{0.3 \cdot 2})$.

Optionally: provide a numerical answer $\alpha_2 = 28^\circ$. 0.25

Repeat the same steps as in the previous subtask, resulting in $V_2 = \frac{V}{d} = \frac{V_{\max} \left(1 - \frac{\theta - \alpha_2}{\Delta\phi_0}\right)}{d}$.

Give full points to all derivation subtasks, if the final formula is correct. 0.5

Provide the numerical answer $V_2 = 3.8 \text{ V}$. 0.5

The student clearly states that $V_2 > 0 \text{ V}$.

Alternatively full points are given, if the numerical solution fullfills the above statement (no points are attributed for follow up errors). 0.25

The student clearly states that $V_2 < V_{\max}$.

Alternatively full points are given, if the numerical solution fullfills the above statement (no points are attributed for follow up errors). 0.25

ii. Wie hoch ist der Wert des Bruches $\frac{V_1}{V_2}$? **1**

State that

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{V_{\max} \left(1 - \frac{\theta - \alpha_1}{\Delta\phi_0}\right)}{V_{\max} \left(1 - \frac{\theta - \alpha_2}{\Delta\phi_0}\right)} \quad (\text{D.1})$$

This simplifies to $\frac{V_1}{V_2} = \frac{\left(1 - \frac{\theta - \alpha_1}{\Delta\phi_0}\right)}{\left(1 - \frac{\theta - \alpha_2}{\Delta\phi_0}\right)}$. 0.5

Provide the numerical answer $\frac{V_1}{V_2} = 1.38$. 0.25

The student clearly states that $V_2 < V_1$ and thus $\frac{V_1}{V_2} > 1$.

Alternatively full points are given, if the numerical solution fullfills the above statement (no points are attributed for follow up errors). 0.25

Lange Aufgabe 2.3: Voltmeter**16**

Ein Voltmeter ist ein Gerät, welches zum Messen von Spannungen in einem Stromkreis benutzt wird. Die Anwendung des Voltmeters in der Praxis beruht auf einigen theoretischen Grundlagen. In dieser Aufgabe wirst du entdecken, wie ein Voltmeter funktionieren kann und worauf man in der Praxis achten muss, wenn man ein Voltmeter verwendet.

Teil A. Spannungen berechnen**4.5**

Betrachte den Stromkreis in Abb. A.1. In einem ersten Schritt wollen wir die Spannung über den verschiedenen Widerständen berechnen. Wir setzen eine Spannung $V_0 = 10\text{ V}$ an und wissen die Werte der Widerstände ($R_1 = 10\text{ M}\Omega$, $R_2 = 500\text{ k}\Omega$ und $R_3 = 750\text{ k}\Omega$).

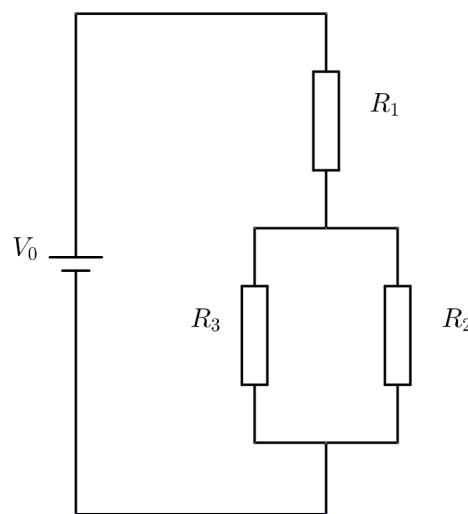


Abbildung A.1: Stromkreis mit angelegter Spannung V_0 und Widerständen R_1 , R_2 und R_3 .

i. Berechne die Spannungen U_1 , U_2 und U_3 über die jeweiligen Widerstände R_1 , R_2 und R_3 . **2**

We compute R_{tot} by first computing $R_{2,3}$, the equivalent resistance of the parallel resistors R_2 and R_3

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{2,3}} &= \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \\ \Rightarrow R_{2,3} &= \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)^{-1} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}. \end{aligned} \quad (\text{A.2})$$

0.5

Then R_{tot} can be computed as the combination of R_1 and $R_{2,3}$ in series

$$\begin{aligned} R_{\text{tot}} &= R_1 + R_{2,3} \\ R_{\text{tot}} &= R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}. \end{aligned} \quad (\text{A.3})$$

0.5

From this equation we can compute the current

$$\begin{aligned} U_0 &= R_{\text{tot}} \cdot I_0 \\ I_0 &= \frac{U_0}{R_{\text{tot}}} . \end{aligned} \quad (\text{A.4})$$

For the first resistor, the entire current flows through it and therefore U_1 can be calculated

$$U_1 = R_1 \cdot I_0 = R_1 \cdot \frac{U_0}{R_{\text{tot}}} = 9.7 \text{ V} . \quad (\text{A.5})$$

0.5

As R_2 and R_3 are in parallel, the same voltage is applied across both resistors. Together with U_1 , this must result in the input voltage U_0 .

$$\begin{aligned} U_0 &= U_1 + U_2 = U_1 + U_3 \\ U_2 &= U_3 = U_0 - U_1 = 0.29 \text{ V} . \end{aligned} \quad (\text{A.6})$$

0.5

ii. Nun betrachten wir den Stromkreis in Abb. A.7. Wir betrachten diesen Stromkreis für zwei verschiedene Versuchsanordnungen A und B . Die beiden Versuchsanordnungen unterscheiden sich nur durch die Werte für die Widerstände R_1 und R_2 . Berechne die Spannung U_2 über dem Widerstand R_2 für die beiden verschiedene Versuchsanordnungen A und B :

- $R_1^{(A)} = 10 \text{ k}\Omega$ und $R_2^{(A)} = 50 \text{ k}\Omega$,
- $R_1^{(B)} = 10 \text{ M}\Omega$ und $R_2^{(B)} = 50 \text{ M}\Omega$.

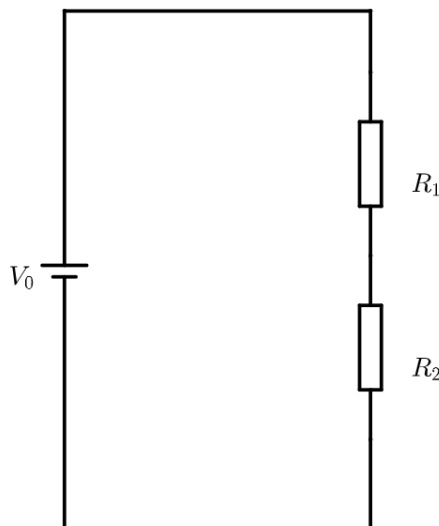


Abbildung A.7: Stromkreis mit angelegter Spannung V_0 und Widerständen R_1 und R_2 .

1

This is a series circuit, so the total resistance is the addition of the individual resistances

$$R_{\text{tot}} = R_1 + R_2. \quad (\text{A.8})$$

This allows the total current to be calculated

$$\begin{aligned} U_0 &= R_{\text{tot}} \cdot I_0 \\ \Rightarrow I_0 &= \frac{U_0}{R_{\text{tot}}}. \end{aligned} \quad (\text{A.9})$$

The voltages can now be calculated

$$U_2 = R_2 \cdot I_0 = R_2 \cdot \frac{U_0}{R_{\text{tot}}}. \quad (\text{A.10})$$

0.5

The answers for the two different test arrangements are thus

$$\begin{aligned} U_2^{(A)} &= 8.3 \text{ V}, \\ U_2^{(B)} &= 8.3 \text{ V}. \end{aligned} \quad (\text{A.11})$$

0.5

iii. Was fällt bei der berechneten Spannung U_2 in beiden Versuchsanordnungen A und B auf? Begründe mathematisch, weshalb dies so ist.

1.5

The voltage U_2 is identical in both experimental setups.

0.5

Reason: we can represent the voltages across a resistor as follows

$$\begin{aligned} U_1 &= R_1 \cdot I_0, \\ U_2 &= R_2 \cdot I_0. \end{aligned} \quad (\text{A.12})$$

We can transform this to

$$\begin{aligned} I_0 &= \frac{U_1}{R_1}, \\ I_0 &= \frac{U_2}{R_2}. \end{aligned} \quad (\text{A.13})$$

0.25

Now we can equate and analyze both equations

$$\begin{aligned} \frac{U_1}{R_1} &= \frac{U_2}{R_2}, \\ \frac{U_1}{U_2} &= \frac{R_1}{R_2}. \end{aligned} \quad (\text{A.14})$$

0.25

From this equation it can be seen that the ratio of U_1 and U_2 is identical to that of R_1 and R_2 . Since the same ratio of resistances is present in both test arrangements, the ratio of voltages is also identical and therefore the voltage U_2 is the same in both arrangements.

0.5

Alternativlösung: (1.5)

Alternative solution.

The voltage U_2 is identical in both experimental setups. (0.5)

This can be seen by noting that in the previous task, U_2 reduces to

$$U_2 = \frac{U_0}{1 + R_1/R_2}, \quad (\text{A.15})$$

such that U_2 only depends on the ratio between R_1 and R_2 . (0.5)

Since the same ratio of resistances is present in both test arrangements, the ratio of voltages is also identical and therefore the voltage U_2 is the same in both arrangements. (0.5)

Teil B. Innenwiderstand eines Voltmeters

6

Ein Voltmeter ist ein Messinstrument um Spannungen zu messen. Idealerweise führt die Messung zu keinem Strom im Voltmeter. In realen Instrumenten ist die Isolation und Messung jedoch nicht perfekt, sodass dennoch ein Strom fließt. Dieser Strom wird mit einem Widerstand im Voltmeter, dem sogenannten Innenwiderstand, beschrieben. In dieser Teilaufgabe betrachten wir den Stromkreis in Abb. A.7 und berechnen dadurch den Innenwiderstand des Voltmeters.

i. Zeichne eine Skizze, wie man ein Voltmeter an den Stromkreis in Abb. A.7 anschliesst, um die Spannung über R_2 zu messen. Begründe die Wahl. 2

The voltmeter is connected in parallel to R_2 in the sketch. 0.5

All circuit elements are properly labeled, including the voltmeter. 0.5

Explanation: for a parallel circuit, the same voltage is applied on both elements, such that the voltmeter should be connected in parallel. 1

Alternativlösung: (2)

The voltmeter is connected in parallel to R_2 in the sketch. (0.5)

All circuit elements are properly labeled, including the voltmeter. (0.5)

Explanation: the voltmeter has to be connected in parallel because it has to measure the voltage difference across the resistor and there is no way it can do it if it is in series. (1)

ii. In einem Experiment haben wir beide Versuchsanordnungen nachgebaut und jeweils die Spannung über R_2 mit demselben Voltmeter gemessen. Dabei haben wir folgende Werte erhalten

- A) $\tilde{U}_2^A = 8.33 \text{ V}$,
- B) $\tilde{U}_2^B = 7.14 \text{ V}$.

Berechne den Innenwiderstand R_i des Voltmeters.

3

The value $\tilde{U}_2^A = 8.33 \text{ V}$ from the first test arrangement does not help us to calculate the internal resistance R_i , as the value corresponds to the calculated value without taking the internal resistance into account. 0.5

We know from the previous subtask that the ratio of resistances and voltages is related as follows if we consider a series circuit

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}, \quad (\text{B.1})$$

where U_1 is indirectly given by

$$U_1 = U_0 - U_2. \quad (\text{B.2})$$

Since we connect the voltmeter in parallel as discussed in the previous task, we know that the voltage across the resistor R_2 is the same as that across R_i and that this corresponds to the voltage across the equivalent resistor R_E

$$\begin{aligned} \frac{U_1}{U_2} &= \frac{R_1}{R_E} \\ \Rightarrow R_E &= \frac{U_2}{U_1} \cdot R_1 = \frac{U_2}{U_0 - U_2} \cdot R_1. \end{aligned} \quad (\text{B.3})$$

We can calculate the equivalent resistance as a parallel circuit

$$R_E = \frac{R_2 \cdot R_i}{R_2 + R_i}. \quad (\text{B.4})$$

If we now set both equations equal, we can solve for R_i and calculate

$$\begin{aligned} \frac{U_2}{U_0 - U_2} \cdot R_1 &= \frac{R_2 \cdot R_i}{R_2 + R_i} \\ \Rightarrow R_i &= \frac{U_2 \cdot R_1 \cdot R_2}{(U_0 - U_2) \cdot R_2 - U_2 \cdot R_1} = 50 \text{ M}\Omega. \end{aligned} \quad (\text{B.5})$$

Alternativlösung:

This alternative solution does not require knowledge of U_0 and but requires the use of the information from both measurements.

We can express U_2 as (the participant could deduce this e.g. from task A.i)

$$U_2 = \frac{V_0}{1 + \frac{R_1 R_2 + R_1 R_i}{R_2 R_i}}. \quad (\text{B.6})$$

One then obtains

$$\frac{\tilde{U}_2^A}{\tilde{U}_2^B} = \frac{1 + \frac{R_1^B R_2^B + R_1^B R_i}{R_2^B R_i}}{1 + \frac{R_1^A R_2^A + R_1^A R_i}{R_2^A R_i}} = \frac{R_i + R_1^B + \frac{R_1^B R_i}{R_2^B}}{R_i + R_1^A + \frac{R_1^A R_i}{R_2^A}}. \quad (\text{B.7})$$

For clarity, let us call $\alpha = \frac{\tilde{U}_2^A}{\tilde{U}_2^B}$. One then obtains

$$\alpha R_i \left(1 + \frac{R_1^A}{R_2^A} \right) + \alpha R_1^A = R_i \left(1 + \frac{R_1^B}{R_2^B} \right) + R_1^B. \quad (\text{B.8})$$

(0.5)

Using that $\frac{R_1^A}{R_2^A} = \frac{R_1^B}{R_2^B}$ gives

$$R_i \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) (\alpha - 1) = R_1^B - \alpha R_1^A. \quad (\text{B.9})$$

(0.5)

We can finally solve for R_i and compute

$$R_i = \frac{R_1^B - \alpha R_1^A}{\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) (\alpha - 1)} = 50 \text{ M}\Omega. \quad (\text{B.10})$$

(1)

iii. Was soll für den Innenwiderstand R_i im Vergleich zu jenem, den man messen will, für präzise Messungen gelten?

Because the voltage is measured in parallel, the internal resistance R_i must be as large as possible compared to the resistance to be measured.

If the internal resistance is of the same order of magnitude or even lower, the voltage to be measured will deviate from the expected value. 0.5

Teil C. Elektroskop

5.5

Ein analoges Voltmeter kann mittels eines Elektroskops dargestellt werden. In den nächsten Teilaufgaben betrachten wir deshalb ein Elektroskop wie es in C.1 dargestellt ist. Das Elektroskop besteht aus zwei Platten, durch die beim Anlegen einer Spannung ein Feld entsteht. An einer der Platte ist ein leitender Zeiger befestigt, der sich frei drehen kann. Wir nehmen für die folgenden Aufgaben an, dass das Feld E zwischen den beiden Platten homogen ist. Die Platten haben Fläche A und haben die positive Ladung Q beziehungsweise die negative Ladung $-Q$. Der Zeiger hat die positive kleine Ladung q . Wir nehmen zudem an, dass sich die gesamte Ladung q und die gesamte Masse m des Zeigers in seiner Spitze befindet.

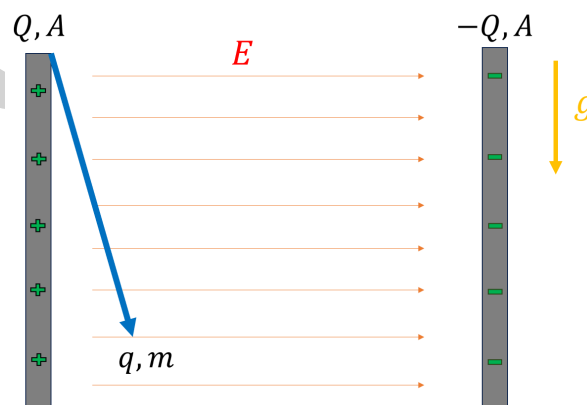


Abbildung C.1: Skizze des Elektroskops. Links und rechts sind die Platten mit Ladungen Q und $-Q$. Beide Platten haben die Fläche A . Der blaue Zeiger hat Ladung q und Masse m , wobei wir beides als Punktmasse beziehungsweise Punktladung in der Spitze des Zeigers annehmen. Das elektrische Feld E , in der Skizze rot dargestellt, zwischen den beiden Platten ist homogen.

i. Erkläre weshalb sich der Zeiger bewegt. 0.5

The pointer moves because it is charged at the tip and therefore moves along the electric field. As the plate is charged with the same charge, it repels itself.

ii. Welche Bedingung muss erfüllt sein, wenn sich der Zeiger nicht mehr in tangentialer Richtung bewegt? Beschreibe mit Hilfe einer Skizze. 1

The normal component of the gravitational force and the normal component of the Coulomb force from the electric field on the pointer must have the same amount, as they act in opposite directions.

Clean and correct drawing.

iii. Berechne aus der Gleichgewichtsbedingung für die tangentiale Richtung den Auslenkungswinkel α in Abhängigkeit der vorhandenen Kräfte. 2

We know from the previous subtask that the normal components of gravity and the force of the field must be equal. The normal forces are calculated as follows.

$$\begin{aligned} F_{G,N} &= \sin(\alpha) \cdot F_G \\ F_{E,N} &= \cos(\alpha) \cdot F_E. \end{aligned} \quad (\text{C.2})$$

This follows from geometric illustrations in the sketch.

Since these two forces should be equal, we set them equal and write expressions in terms of α .

$$\begin{aligned} F_{G,N} &= F_{E,N} \\ \Rightarrow F_G \cdot \sin(\alpha) &= F_E \cdot \cos(\alpha) \\ \Rightarrow \frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} &= \tan(\alpha) = \frac{F_E}{F_G} \\ \Rightarrow \alpha &= \tan^{-1}\left(\frac{F_E}{F_G}\right) \end{aligned} \quad (\text{C.3})$$

iv. Berechne die elektrische Kraft auf die Spitze in Abhängigkeit der Ladungen Q auf der Platte, der Ladung q auf der Spitze sowie der Plattenfläche A . 1

The electrical force can be calculated from the electric field as

$$F_E = q \cdot E \quad (\text{C.4})$$

The electric field is given by

$$E = \frac{Q}{\epsilon \cdot A} \quad (\text{C.5})$$

Assemble both equations leads to the result

$$F_E = \frac{q \cdot Q}{\epsilon \cdot A} \quad (\text{C.6})$$

v. Berechne nun den Auslenkungswinkel für folgende Werte: 0

- $m = 200 \text{ g}$,
 - $q = 0.001 \text{ }\mu\text{C}$,
 - $Q = 30 \text{ }\mu\text{C}$,
 - $A = 1.5 \text{ dm}^2$,
 - $\epsilon = \epsilon_0$.
-

Plugging in the numbers leads to the following result

$$\alpha = \tan^{-1}(0.115\dots) = 6.6^\circ. \quad (\text{C.7})$$

SOLUTION