

47. Internationale PhysikOlympiade Zürich, Schweiz 2016



Wettbewerbsleitung

Dr. Stefan Petersen
Tel.: 0431 / 880 - 5120
email: petersen@ipho.info

Sekretariat

Lulu Hoffmeister
Tel.: 0431 / 880 - 5387
email: sekretariat@ipho.info

Anschrift: IPN an der Universität Kiel
Olshausenstraße 62
24098 Kiel

Fax: 0431 / 880 - 3148

Webseite: www.ipho.info

Lösungen und Bewertungsvorschläge zu den Aufgaben der 1. Runde im Auswahlwettbewerb zur 47. IPhO 2016

**Nur für die betreuenden Lehrerinnen und Lehrer. Nicht vor Oktober 2015 an
Schülerinnen und Schüler weitergeben!**

Sehr geehrte Fachlehrerin, sehr geehrter Fachlehrer,

Ihnen gebührt unser besonderer Dank. Ohne Ihr Engagement bei der Vorbereitung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer sowie bei der Korrektur der Ausarbeitungen wäre es uns nicht möglich, den Auswahlwettbewerb für die Internationale PhysikOlympiade in dieser Form durchzuführen. Wir bitten Sie daher auch in diesem Jahr herzlich, Ihre Schüler und vor allem Ihre Schülerinnen zur Teilnahme an dem Wettbewerb anzuregen und die von Ihren Kandidatinnen bzw. Kandidaten eingereichten Bearbeitungen anhand des angehängten Bewertungsschemas zu bewerten. Stichtag für die Einsendung der Ergebnisse der 1. Runde an Ihre(n) zuständige(n) Landesbeauftragte(n) ist der 22. September 2015. Ermuntern Sie Ihre Schülerinnen und Schüler gerne auch zur frühzeitigen Abgabe der Bearbeitung einzelner Aufgaben, damit diese zum Ende hin nicht alle Aufgaben auf einmal lösen müssen.

Es liegt in der Natur eines Wettbewerbes, dass nicht alle Teilnehmenden bis in die Endrunde gelangen können. Wir denken, dass sich eine Teilnahme aber in jedem Fall lohnt. Neben spannenden Aufgaben und der Möglichkeit, interessante Kontakte zu knüpfen, erhalten auch Teilnehmende, die nicht in die nächste Runde gelangen, eine Teilnahmebestätigung.

Weitere Informationen zum Ablauf der 1. und der weiteren Runden sind unter www.ipho.info zu finden.

Wir freuen uns sehr über Ihre Mitarbeit und wünschen Ihnen sowie Ihren Schülerinnen und Schülern viel Erfolg. Ihr IPhO-Team am IPN in Kiel

Bitte beachten Sie unbedingt auch die Hinweise auf der Folgeseite!



Hinweise zur 1. Wettbewerbsrunde für betreuende Lehrkräfte

Für den Auswahlwettbewerb zur Internationalen PhysikOlympiade gibt es ein **Online-Anmeldungs- und -Bewertungsverfahren**, das nachfolgend kurz beschrieben ist.

Registrierung bzw. Anmeldung als betreuende Lehrkraft

- Wenn Sie bereits für die IPhO oder eine andere der vom IPN organisierten ScienceOlympiaden elektronisch registriert sind, melden Sie sich mit Ihren Nutzerdaten bitte für den aktuellen Wettbewerb als Betreuerin bzw. Betreuer an. Ein erneutes Zufaxen des bei der Anmeldung noch einmal erzeugten Formulars ist in diesem Fall nicht erforderlich.
- Falls Sie noch nicht bei uns registriert sind, registrieren Sie sich bitte so bald wie möglich unter www.ipho.info als betreuende Lehrkraft. Drucken Sie zum Abschluss der Registrierung das erzeugte Formular aus und faxen Sie es zur Freischaltung Ihrer Daten mit einem Schulstempel versehen an das Wettbewerbssekretariat.
- Nach erfolgreicher Freischaltung für den Wettbewerb erhalten Sie diese Musterlösung von uns noch einmal in elektronischer Form per E-Mail.
- Geben Sie bitte in beiden Fällen den bei der Registrierung erzeugten Lehrercode an die von Ihnen betreuten Teilnehmenden weiter, damit diese Ihnen zugeordnet werden können.

Bearbeitung der Aufgaben durch Schülerinnen und Schüler

- Schülerinnen und Schüler bearbeiten die Aufgaben der 1. Runde in Hausarbeit. Dabei sind nur Einzelarbeiten zugelassen. Die Ausarbeitungen sollten bis zum **07. September 2015** bei Ihnen abgegeben werden, damit Sie die Korrektur durchführen und die Ergebnisse rechtzeitig weitergeben können (s. auch unten). Sie können mit Ihren Schülerinnen und Schülern individuell auch andere Termine verabreden, sofern der Rückmeldetermin an die Landesbeauftragten eingehalten wird.
- Vor der Abgabe der Arbeit müssen sich teilnehmende Schülerinnen und Schüler ebenfalls online registrieren bzw. anmelden und das erzeugte Adressformular ggf. korrigiert der Bearbeitung beilegen.

Bewertung der Arbeiten und Übermittlung der Ergebnisse

- Bewerten Sie die Ausarbeitungen Ihrer Kandidaten bitte anhand dieser Musterlösung und füllen Sie jeweils einen Bewertungsbogen (s. letzte Seite) aus.
- Gemäß den Gepflogenheiten bei der Internationalen PhysikOlympiade sollte bei der Bewertung der Arbeit die Richtigkeit der Lösung im Mittelpunkt stehen, nicht die Sauberkeit der Ausarbeitung und der sprachliche Ausdruck. Die jeweils angegebenen Punktzahlen beziehen sich auf einen möglichen Lösungsweg. Bei anderen Lösungswegen muss die Bewertung sinngemäß abgeändert werden, wobei die Gesamtpunktzahl pro Aufgabe beizubehalten ist.
- Schülerinnen und Schüler, die im Schuljahr 2015/2016 noch nicht die vorletzte Jahrgangsstufe erreicht haben, können durch die Bearbeitung der **Junioraufgabe** einen Bonus von maximal 10 Punkten erreichen.
- Die Punktegrenze für das Erreichen der 2. Runde liegt in diesem Jahr bei **30 Punkten**.
- Teilen Sie uns bitte die Bewertungsergebnisse Ihrer Schülerinnen und Schüler online mit. Einen Link zu der Seite finden Sie unter www.ipho.info. Nach Eingabe der Bewertungsergebnisse wird zur Kontrolle eine Zusammenfassung der eingegebenen Ergebnisse erzeugt.
- Schicken Sie die bewerteten Arbeiten zusammen mit den Adressformularen, den Bewertungsbögen und der Zusammenfassung der Bewertung bis spätestens **22. September 2015** an Ihre(n) Landesbeauftragte(n). Kontaktinformationen zu den Landesbeauftragten finden Sie unter www.ipho.info.

Bei Fragen oder Problemen helfen Ihnen die Landesbeauftragten und das IPhO-Team am IPN gerne weiter.

Aufgabe 1 Ein unscharfes Bild

(10 Pkt.)

Ein Lineal wird fotografiert. Weit hinter dem Lineal befindet sich eine Lichterkette, deren kleine Lämpchen auf dem Foto unscharf erscheinen.

Vereinfachend darfst Du annehmen, dass die Abbildung durch eine einzelne, dünne Linse erzeugt wird.

Bestimme mit Hilfe des Fotos den Durchmesser der Kameralinse.



Abbildung 1: Unscharfes Foto einer Lichterkette.

Lösung

Da die Lichterkette weit weg ist, treffen nahezu parallele Lichtstrahlen auf die Linse, deren Durchmesser L betrage. Die als Punktquellen annehmbaren Lichter erzeugen auf dem Bildsensor Kreise mit einem Durchmesser D . Die folgende Skizze veranschaulicht den Strahlenverlauf bei der Abbildung.

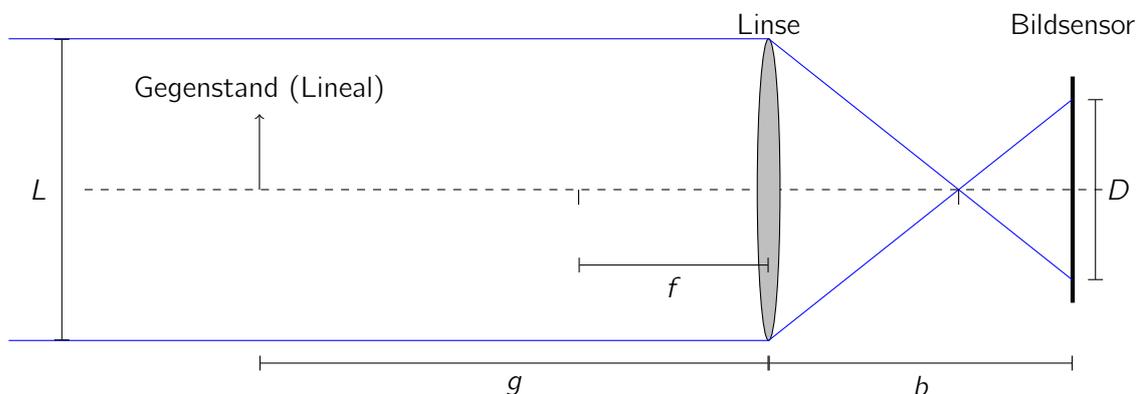


Abbildung 2: Strahlenverlauf bei der Abbildung einer Lampe der Lichterkette.

Der Abstand des Lineals zur Linse wird dabei mit g und der Abstand des Bildes des Lineals auf dem Bildsensor zur Linse mit b bezeichnet. Außerdem werden die Gegenstandsgröße des Lineals (cm-Maßstab) mit G und die entsprechende Bildgröße mit B bezeichnet.

Mit diesen Bezeichnungen gilt aufgrund des Strahlensatzes

$$\frac{L}{f} = \frac{D}{b - f} \quad (1.1)$$

und außerdem für die Abbildung des Lineals

$$\frac{1}{g} = \frac{1}{b} \frac{B}{G} \quad (1.2)$$

Dies lässt sich in der Abbildungsgleichung für dünne Linsen nutzen, um diese umzuschreiben zu

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{b} \left(\frac{B}{G} + 1 \right) \quad \text{bzw.} \quad b = f \left(1 + \frac{B}{G} \right). \quad (1.3)$$

Eingesetzt in (1.1) ergibt sich damit für den Linsendurchmesser

$$L = \frac{G}{B} D. \quad (1.4)$$

Vermisst man also die Kreise mit dem scharf abgebildeten Lineal, erhält man den Linsendurchmesser.

Im vorliegenden Fall lässt sich der Durchmesser der Kreise zu etwa $(36,0 \pm 0,5)$ mm auf der Skala des Lineals bestimmen. Damit besitzt die Linse einen Durchmesser von

$$L = (36,0 \pm 0,5) \text{ mm}. \quad (1.5)$$

Hinweise: Eine Fehlerrechnung wird von den Teilnehmenden nicht erwartet.

Der ermittelte Linsendurchmesser stimmt bei dem verwendeten Objektiv nicht sehr gut mit dem aus Brennweite (85 mm) und Blendenzahl (1,8) zu berechnenden Wert von $L = 85 \text{ mm}/1,8 \approx 47 \text{ mm}$ überein. Die Annahme einer einfachen dünnen Linse scheint in diesem Fall also keine gute Näherung zu sein.

Bewertung - Ein unscharfes Bild		Punkte
1	Beschreibung der Situation (Skizze o.ä.)	2
	Verwendung des Strahlensatzes (1.1)	1
	Verwendung des Abbildungsmaßstabes (1.2) und der Abbildungsgleichung (1.3)	2
	Angabe eines Ausdrucks für den Linsendurchmesser (1.4)	3
	Numerische Bestimmung des Ergebnisses (1.5)	2
		10

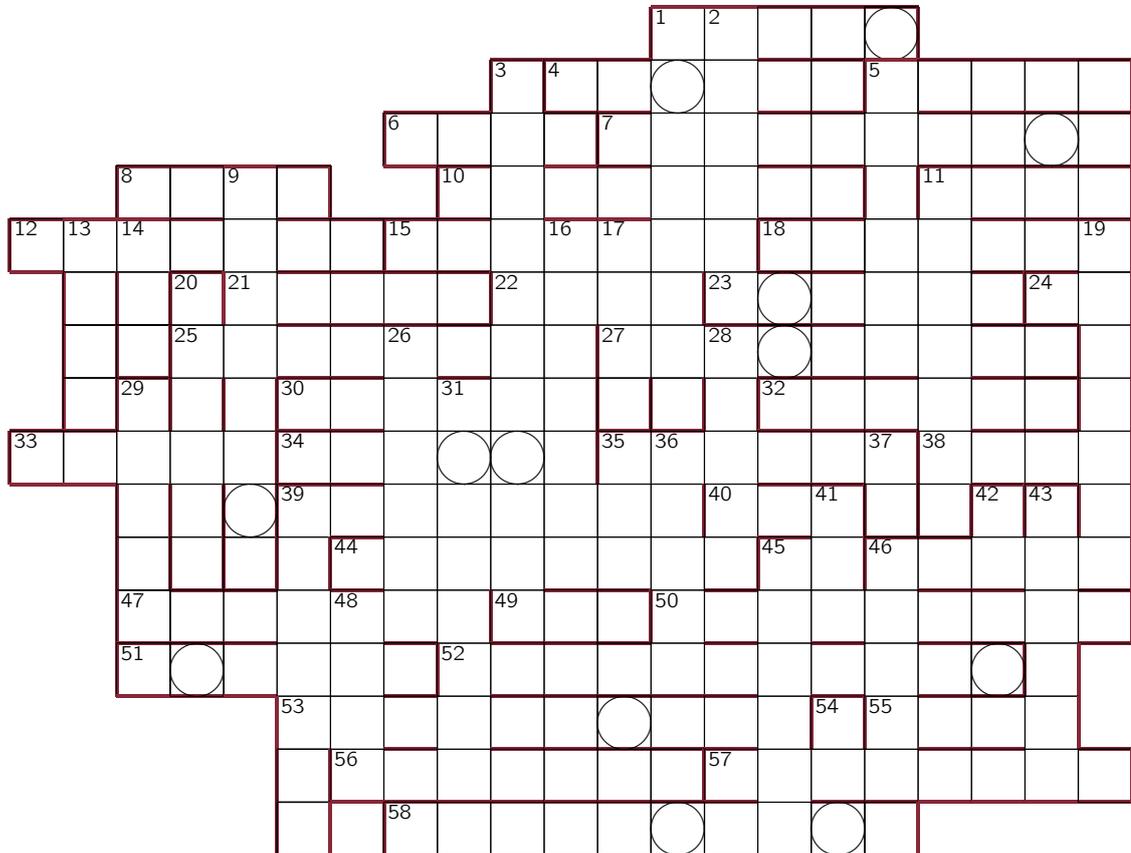
Aufgabe 2 Ganz schön verzwickelt

(10 Pkt.)

(Idee: Anne Sauermann)

Ein Kreuzworträtsel ganz ohne griechische Götter und schweizer Kantone? Das geht!

Löse das folgende Kreuzworträtsel und finde das Lösungswort.



Waagrecht: **1** Modell für mikroskopische Objekte mit gegensätzlichen Hälften **4** akustisches „Organ“ des Menschen **5** mit den Augen wahrnehmbare Wellenerscheinung **6** numerischer Wert **7** Ladungsspeichervermögen **8** vergeht kontinuierlich an jedem $\rightarrow 40$ **10** Zustand eines Körpers mit zeitlich veränderlicher Lage **11** Einheit elektrischer Potentialdifferenzen **12** wirbelfrei **15** Hälfte eines Magneten (konventionell rot markiert) **18** beschreibendes Modell der Wirklichkeit **21** Flüssigkeit oder Gas in Bewegung **22** Half beim Nachweis der Zeitdilatation **23** longitudinale Druckwelle **24** Abkürzung für Normalnull **25** negativ geladenes Elementarteilchen **27** sinnvolle Vereinfachung **30** vierter Aggregatzustand **32** Berechnungsvorschrift **33** viel diskutiertes Bild einer Funktion **34** Gesamtheit betrachteter Objekte **35** Teilcheneigenschaft, die insgesamt erhalten bleibt **38** zeitlich unbegrenzt **39** Drehbewegung **40** Punkt im Raum **44** Anzeiger spezifischer Teilchen **46** zeitlich und räumlich periodisch veränderliche physikalische Größe **47** Familie der kleinsten Vogelart mit der höchsten Flügelschlagfrequenz **49** Mikroskop, das Oberfläche mit Elektronen „abtastet“ **50** Material, das äußere Magnetfelder teilweise verdrängt **51** bei konstantem Druck **52** Erdanziehung **53** postulierte Unbestimmtheit **55** Steuerelement eines Transistors **56** Verlängerung durch Krafteinwirkung **57** Verteilungsmaß z.B. für Messwerte **58** Überprüfungsmöglichkeit von $\rightarrow 18$

Senkrecht: **1** schräg gegenüberliegend **2** bleibt bei jedem Stoß erhalten **3** Messgerät zur Temperaturbestimmung **5** gerade, nicht gekrümmt **9** Ladungsträgerverschiebung durch ein äußeres elektrisches Feld **11** Rauminhalt **13** nicht Unteilbares **14** Einheit der Stoffmenge **16** Teilgebiet der Mechanik, das $\rightarrow 10$ als Ursache von Kräften untersucht **17** veraltete Krafteinheit **19** ist nicht zu erzeugen oder zu vernichten, nur umwandelbar **20** nach einem britischen Physiker benannte SI-Einheit **26** Bauelement, das nur bei Betätigung elektrische Leitung ermöglicht **28** kombiniertes Verfahren aus NMR- und ESR-Spektroskopie **auch** Name des Waldmondes nahe dem zweiten Todesstern **29** Impulsübertrag eines

Aufgabe 3 Rutschen und Kippen

(10 Pkt.)

Peter behauptet, er kann nur mit einem Lineal, einer vollen Salzpackung und einem Tisch den Haftreibungskoeffizienten zwischen Tisch und Salzpackung herausfinden. Zum Beweis neigt er den Tisch, bis die Salzpackung zu rutschen beginnt. Dies geschieht bei einem Neigungswinkel von 17° . Mit dieser Information bestimmt er den Haftreibungskoeffizienten.

„Das kann ich besser“, entgegnet Sofie und drückt, wie in der nebenstehenden Abbildung angedeutet, gegen die Seite der Packung. Diese beginnt daraufhin zu rutschen. Drückt sie allerdings ein klein wenig weiter oben gegen die Packung, so beginnt sie zu kippen statt zu rutschen.

Berechne aus dem von Peter ermittelten Neigungswinkel den Haftreibungskoeffizienten zwischen Salzpackung und Tisch.

Erläutere außerdem, wie Sofie durch ihr Vorgehen den Haftreibungskoeffizienten herausfinden kann und bestimme, auf welcher Höhe sie gegen die Salzpackung drücken kann, damit die Salzpackung gerade noch rutscht.

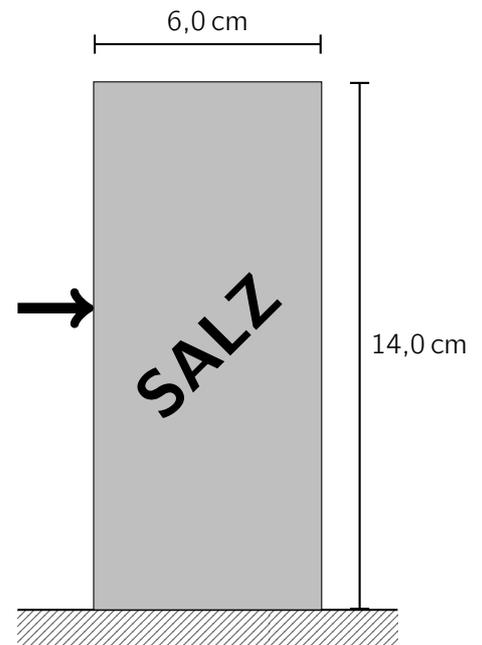


Abbildung 3: Versuch mit einer Salzpackung.

Lösung

Um den Haftreibungskoeffizienten durch Kippen des Tisches zu bestimmen, muss dieser so weit geneigt werden, dass die Gewichtskraftkomponente parallel zur Tischoberfläche gerade gleich der maximalen Haftreibungskraft

$$F_R = \mu m g \cos \alpha \quad (3.1)$$

ist. Dabei bezeichnet m die Masse der gefüllten Salzpackung und g die Schwerebeschleunigung auf der Erde. μ ist der gesuchte Haftreibungskoeffizient zwischen Salzpackung und Tisch.

Es muss also gelten:

$$m g \sin \alpha = \mu m g \cos \alpha . \quad (3.2)$$

Daraus folgt mit dem gegebenen Kippwinkel für den Haftreibungskoeffizienten

$$\boxed{\mu = \tan \alpha \approx 0,31} . \quad (3.3)$$

Wenn die Salzpackung nicht rutscht, muss die Kraft F mit der Sofie horizontal gegen die Salzpackung drückt, durch die Reibungskraft F_R zwischen Packung und Tisch ausgeglichen werden (vgl. Abb. 4).

Die Kraft F bewirkt außerdem ein Drehmoment auf die Packung bezüglich der rechten unteren Kante (A). Bezeichne mit h die minimale Höhe, auf der Sofie gegen die Salzpackung drücken muss, damit die Packung zu kippen beginnt ohne zu rutschen¹. Auf dieser Höhe entspricht die zum Kippen minimal notwendige Kraft F gerade der Reibungskraft (3.1), denn wäre die Kraft größer, würde die Packung rutschen und wäre die Kraft kleiner als F_R , könnte man auch weiter unten mit einer größeren Kraft drücken, um die Packung zu kippen.

Wenn die Kraft F gerade noch nicht zum Kippen der Packung ausreicht, heben sich die bezüglich A wirkenden Drehmomente gerade auf und es gilt mit den Bezeichnungen in der Abbildung:

$$m g \frac{d}{2} = F h, \quad \text{mit} \quad F = F_R = \mu m g. \quad (3.4)$$

Damit ergibt sich die gesuchte Höhe h , in der Sofie gegen die Salzpackung drücken muss, zu

$$h = \frac{d}{2\mu} \approx \frac{6,0 \text{ cm}}{2 \cdot 0,31} \approx 9,7 \text{ cm}.$$

(3.5)

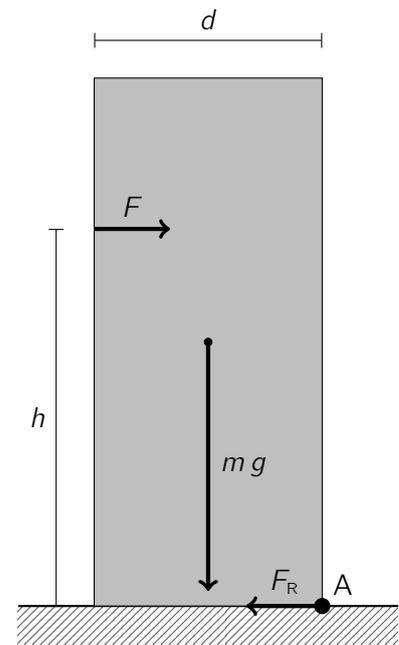


Abbildung 4: Skizze zur Bestimmung des Haftreibungskoeffizienten.

Bewertung - Rutschen und Kippen		Punkte
3	Angabe eines Ausdrucks für die Reibungskraft F_R	1
	Aufstellen einer Kraftbilanz beim Neigen des Tisches (3.2)	2
	Berechnung des Haftreibungskoeffizienten (3.3)	1
	Angabe und Begründung der Drehmomentbilanz (3.4)	4
	Numerische Bestimmung der Höhe (3.5)	2
		10

¹Diese Höhe grenzt den Fall der rutschenden Packung von dem der kippenden Packung ab.

Aufgabe 4 Abgelenkt
(10 Pkt.)

Ein zuvor mit einer Spannung von 100 V beschleunigtes Elektron tritt am Punkt A in ein homogenes elektrisches Feld ein. Die Bahn des Elektrons ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Der Abstand der gestrichelten Linien in der Abbildung entspricht 4,0 mm und die Bewegung des Elektrons verläuft in der Zeichenebene.

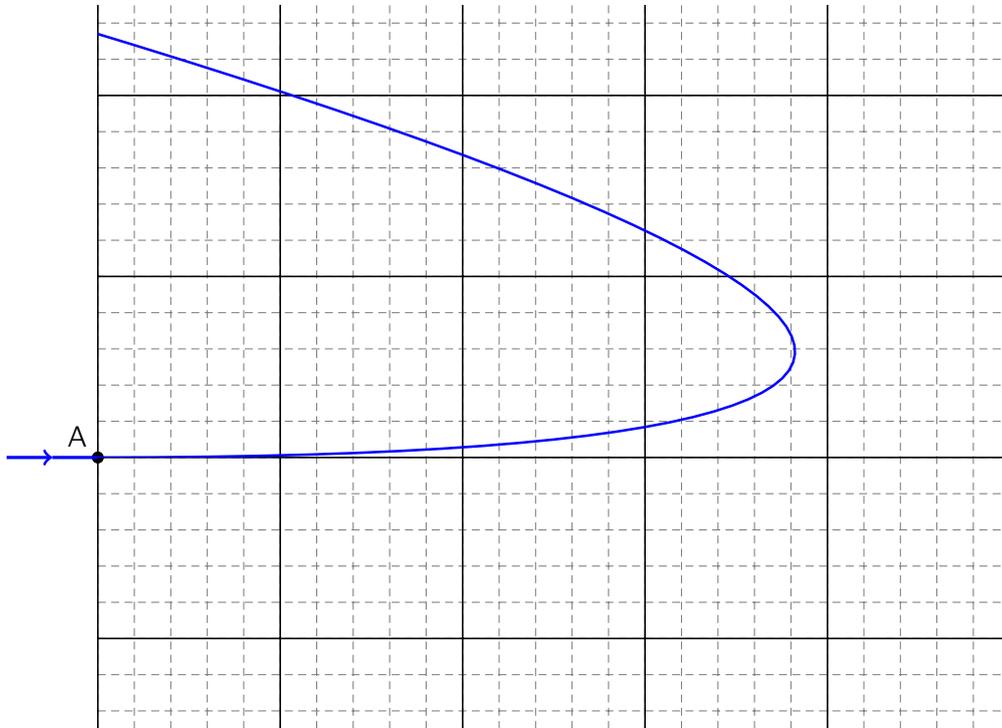


Abbildung 5: Bahn des Elektrons in dem homogenen elektrischen Feld.

- Bestimme die Stärke und die Richtung des elektrischen Feldes, das zur Ablenkung des Elektrons führt. (7 Pkt.)
- Berechne die Zeit, die das Elektron für das Durchlaufen dieser Bahn benötigt. (3 Pkt.)

Lösung

- Das elektrische Feld führt zu einer konstanten Beschleunigung entgegengesetzt der Richtung des elektrischen Feldes. Definiere ein Koordinatensystem mit x -Achse in Richtung der ursprünglichen Bewegungsrichtung des Teilchens, y -Richtung in der Zeichenebene nach oben und Ursprung im Punkt A.

Die Bewegung in x -Richtung wird nach Eintritt in das Feld durch die Komponente E_x des elektrischen Feldes abgebremst. Am Umkehrpunkt entspricht die potentielle Energie des Teilchens im elektrischen Feld gerade dessen anfänglicher kinetischer Energie, die gleich dem Produkt aus Beschleunigungsspannung $U = 100 \text{ V}$ und Ladung $q < 0$ des Teilchens ist. Es gilt am Umkehrpunkt also

$$Uq = qE_x x_{\max} \quad (4.1)$$

Aus der Abbildung folgt mit $x_{\max} \approx 19,2 \cdot 4,0 \text{ mm} \approx 76,8 \text{ mm}$

$$E_x = \frac{U}{x_{\max}} \approx 1,3 \cdot 10^3 \text{ V m}^{-1} \quad (4.2)$$

Bezeichne t' die Zeit, die das Teilchen für das Durchlaufen der Bahn in dem elektrischen Feld benötigt. Da die Bewegung gleichmäßig beschleunigt ist, wird der Umkehrpunkt nach der Zeit $t'/2$ erreicht und es gilt für dessen x -Koordinate

$$x_{\max} = x(t'/2) = v_0 \frac{t'}{2} + \frac{1}{2} \frac{q E_x}{m} \left(\frac{t'}{2}\right)^2. \quad (4.3)$$

Dabei sind m die Masse des Teilchens und v_0 die Geschwindigkeit, mit der das Teilchen in das Feld eintritt. Letztere lässt sich über die Feldstärke ausdrücken durch

$$v_0 = -\frac{q E_x}{m} \frac{t'}{2}. \quad (4.4)$$

Eingesetzt in (4.3) führt dies auf

$$x_{\max} = -\frac{1}{2} \frac{q E_x}{m} \left(\frac{t'}{2}\right)^2. \quad (4.5)$$

Anfänglich besitzt das Teilchen keine Geschwindigkeit in y -Richtung. Daher schneidet die Teilchenbahn die y -Achse nach der Zeit t' bei

$$y_{\max} = y(t') = \frac{1}{2} \frac{q E_y}{m} t'^2. \quad (4.6)$$

Löst man die Gleichungen (4.5) und (4.6) nach t' auf, so lässt sich auch die y -Komponente des elektrischen Feldes aus dem Schnittpunkt $y_{\max} \approx 11,8 \cdot 4,0 \text{ mm} \approx 47,2 \text{ mm}$ bestimmen zu

$$E_y = -\frac{y_{\max}}{x_{\max}} \frac{E_x}{4} \approx -2,0 \cdot 10^2 \text{ V m}^{-1}. \quad (4.7)$$

Das Minuszeichen resultiert aus der Beschleunigung des negativ geladenen Teilchens in positive y -Richtung. Das elektrische Feld besitzt also insgesamt eine Größe

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \approx 1,3 \cdot 10^3 \text{ V m}^{-1} \quad (4.8)$$

und schließt einen Winkel

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{E_y}{E_x} \approx -8,7^\circ \quad (4.9)$$

mit der ursprünglichen Bewegungsrichtung des Teilchens ein. Die Ergebnisse sind bis hierhin unabhängig von der Ladung des Teilchens und dessen Masse.

- b) Die Zeit t' , die ein Elektron zum Durchlaufen der Bahn benötigt, lässt sich mit Hilfe von (4.6) aus dem Maximalwert von y berechnen zu

$$t' = \sqrt{\frac{2 y_{\max} m_e}{-e E_y}} \approx 5,2 \cdot 10^{-8} \text{ s}. \quad (4.10)$$

Hierbei wurden für die Elektronenmasse $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ und für die Elementarladung $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ As}$ verwendet.

Bewertung - Abgelenkt		Punkte
4.a)	Bestimmung der Komponente E_x (4.2) z.B. aus dem Energiesatz	2
	Idee zur Bestimmung der y -Komponente des elektrischen Feldes	2
	Bestimmung des Wertes für E_y (4.7)	1
	Angabe von Betrag und Richtung des elektrischen Feldes (Angabe als Vektorkomponenten oder Betrag und Winkel zu einer Achse)	2
4.b)	Angabe eines Ausdrucks für die Zeit (4.10)	2
	Numerisches Ergebnis in (4.10)	1
		10

Hinweis: Es ist zu erwarten, dass die Schülerinnen und Schüler ganz unterschiedliche Lösungsansätze präsentieren werden. Neben dem vorgestellten ist zum Beispiel auch die Nutzung einer Parabelschablone oder die numerische Bestimmung der Parameter der schräg liegenden Parabel denkbar. Diese Wege sollten, wenn sie physikalisch richtig sind, ebenfalls mit voller Punktzahl bewertet werden.

Aufgabe 5 Ausgeglichen (Junioraufgabe)

(10 Pkt.)

Ein Besen wird für einen physikalischen Versuch zweckentfremdet und auf einer schmalen Auflagekante mit Hilfe eines Gewichtstückes mit einer Masse von 1,0 kg balanciert. Wenn der Abstand zwischen Auflagekante und dem rechten Ende des Besens 70 cm beträgt, muss das Gewicht 25 cm von dem Ende aufgehängt werden, um den Besen auszubalancieren. Verschiebt man nun die Auflagekante um 10 cm nach links, so muss das Gewicht um 19 cm verschoben werden, damit der Besen wieder im Gleichgewicht ist.

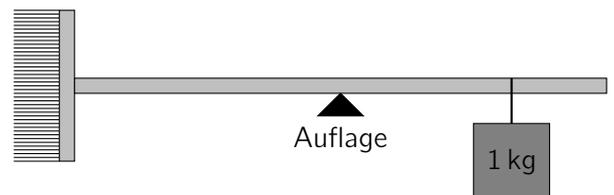


Abbildung 6: Experiment mit einem Besen.

Bestimme die Masse des Besens und den Abstand seines Schwerpunktes vom rechten Ende.

Finde heraus, wie Du ohne irgendwelche Hilfsmittel mit einem einfachen Experiment den Schwerpunkt eines Besens bestimmen kannst und erläutere Deine Idee.

Lösung

Bezeichne mit x , d und S die Abstände der Aufhängung des Gewichtes, der Auflagekante sowie des Besenschwerpunktes vom rechten Ende des Besens. Dann gilt in der ursprünglichen Gleichgewichtssituation (vgl. auch die Abbildung rechts) nach dem Hebelgesetz.

$$M(s - d_1) = m(d_1 - x_1) . \quad (5.1)$$

Dabei sind M und $m = 1,0 \text{ kg}$ die Massen des Besens bzw. des Gewichtstückes. Analog gilt für den nach Verschieben der Auflagekante ausbalancierten Besen mit $d_2 = 80 \text{ cm}$ und $x_2 = 44 \text{ cm}$:

$$M(s - d_2) = m(d_2 - x_2) . \quad (5.2)$$

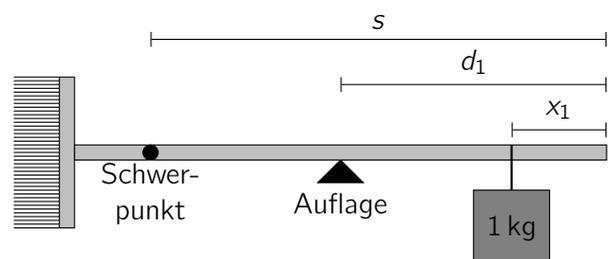


Abbildung 7: Skizze zur Bestimmung des Schwerpunktes.

Aus der Differenz dieser beiden Gleichungen ergibt sich für die Masse M des Besens²

$$M = m \left(\frac{x_2 - x_1}{d_2 - d_1} - 1 \right) \approx 0,90 \text{ kg} . \quad (5.3)$$

Der Abstand des Schwerpunktes vom rechten Ende des Besens kann nun z.B. aus (5.1) bestimmt werden zu

$$s = d_1 + \frac{m}{M} (d_1 - x_1) \approx 120 \text{ cm} . \quad (5.4)$$

Experimentell lässt sich der Schwerpunkt eines Besens zum Beispiel durch Balancieren des Besens auf einem Finger bestimmen. Systematischer geht dies, indem man den Besen auf zwei ausgestreckten Fingern horizontal hält. Die Gewichtskraft des Besens verteilt sich dann auf die beiden Finger, wobei immer der Finger mit einer größeren Kraft belastet wird, der näher an dem Schwerpunkt ist. Schiebt man die Finger nun langsam zusammen, so wird der Besen immer zuerst an dem Finger zu rutschen beginnen, der weiter von dem Schwerpunkt weg ist, da die dort maximal wirkende Reibungskraft, die proportional zur Belastung des Fingers ist, geringer ist. Die Finger treffen sich daher genau unter dem Schwerpunkt des Besens.

Bewertung - Ausgeglichen (Junioraufgabe)		Punkte
	Anwendung des Hebelgesetzes und einer Gleichgewichtsbedingung wie (5.1)	3
	Angabe der Masse des Besens (5.3)	2
	Angabe des Abstandes zwischen Schwerpunkt und Besenende (5.4)	2
	Beschreibung einer passenden Idee zur Bestimmung des Schwerpunktes	3
		10

²Zu diesem Ergebnis kann man auch mit der folgenden Überlegung gelangen: Durch die Verschiebung der Auflagekante, kommt der Schwerpunkt 10 cm näher an diese heran, während die Aufhängung des Gewichtes nur 9 cm näher an die Kante herangeschoben wird. Da das Produkt aus Masse mal Hebelarm auf beiden Seiten der Auflage im Gleichgewicht gleich sein muss, muss die Masse des Besens gerade 9/10 der Masse des Gewichtstückes entsprechen.

Bewertungsbogen für die 1. Runde zur 47. IPhO 2016(dieser Bogen ist auch unter www.ipho.info bei den Hinweisen zur 1. Runde erhältlich)**Von der korrigierenden Lehrkraft auszufüllen.**

Schülername (-code): _____ (_____)

Schule, Ort: _____

Lehrkraft: _____

Aufgabe	Maximalpunktzahl	Erreichte Punktzahl
1 Ein unscharfes Bild	10	
2 Ganz schön verzwick	10	
3 Rutschen und Kippen	10	
4 Abgelenkt	10	

Bonuspunkte für jüngere Teilnehmende

5 Ausgeglichen (Junioraufgabe)	10	
	40 (+10)	

Kommentare und Anregungen:

Unterschrift: _____