

45. Internationale PhysikOlympiade Astana, Kasachstan 2014



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 45. IPhO 2014

**Nur für die betreuenden Lehrerinnen und Lehrer.
Nicht vor Mitte September 2013 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. Der Stichtag für die Einsendung der Ergebnisse der 1. Runde liegt im Sommer 2013 und variiert von Bundesland zu Bundesland. Weitere Informationen zur 1. Runde 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 zum Ablauf der 1. Wettbewerbsrunde für betreuende Lehrkräfte

Für den Auswahlwettbewerb zur Internationalen PhysikOlympiade gibt es ein **Online-Anmeldungs- und -Bewertungsverfahren**, das nachfolgend kurz beschrieben ist. Weitere Informationen hierzu finden Sie auf der Wettbewerbsseite.

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.
- 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.
- Geben Sie bitte in beiden Fällen den bei der Registrierung erzeugten Lehrercode an die von Ihnen betreuten Kandidatinnen und Kandidaten weiter, damit eine Zuordnung zwischen Teilnehmenden und Lehrkräften erfolgen kann.

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 so rechtzeitig abgegeben werden, dass Sie bis zum Rückmeldestichtag in Ihrem Bundesland die Korrektur durchführen und die Ergebnisse weitergeben können (s. auch unten).
- Vor der Abgabe der Arbeit müssen sich teilnehmende Schülerinnen und Schüler ebenfalls online für den Wettbewerb registrieren bzw. anmelden und das am Ende erzeugte Adressformular ggf. korrigiert ihrer 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. Weitere Hinweise zur Korrektur finden Sie am Ende der Musterlösung. Der für Ihr Bundesland zuständige Landesbeauftragte steht Ihnen für Rückfragen bei der Korrektur gerne zur Verfügung.
- Teilen Sie uns bitte die Bewertungsergebnisse Ihrer Schülerinnen und Schüler online unter www.ipho.info mit. 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 zu dem in Ihrem Bundesland gültigen Stichtag an Ihren Landesbeauftragten.
- Kontaktinformationen zu den Landesbeauftragten und den für Ihr Bundesland gültigen Stichtag für die Eingabe der Ergebnisse sowie das Einsenden der Arbeiten der 1. Runde finden Sie unter www.ipho.info.

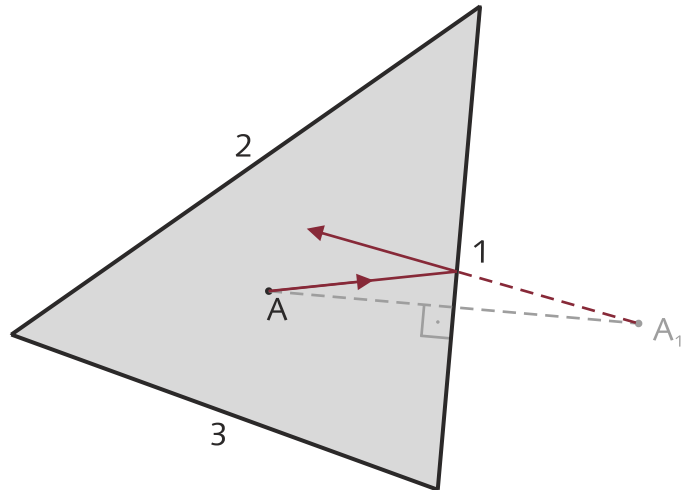
Bei Fragen oder Problemen hilft Ihnen das IPhO-Team am IPN gerne weiter.

Aufgabe 1 Physikerbillard
(10 Pkt.)
Lösung

Da die Stöße mit der Bande als elastisch angenommen werden können, gilt das Reflexionsgesetz, nach dem der Einfallswinkel vor dem Stoß gleich dem Ausfallswinkel nach dem Stoß ist.

Die Lösung lässt sich einfach konstruieren, wenn man erkennt, dass die Bahn einer von einem Punkt A kommenden Kugel nach der Reflexion an einer Bande die gleiche ist wie die einer Kugel, die von einem Punkt A_1 hinter der Bande kommt, der dadurch ermittelt wird, dass der Punkt A an dieser Bande gespiegelt wird.

Die nebenstehende Skizze verdeutlicht dieses Verhalten für den Stoß an der ersten Bande.



Für die zu betrachtende Situation lassen sich so die festen Positionen der gespiegelten Punkte A_1 , A_2 und A_3 nacheinander jeweils durch Geradenspiegelung der vorherigen Punkte konstruieren. Aus der Bedingung, dass die Kugel schließlich wieder am Punkt A ankommen soll, kann man dann die gesamte Bahn der Kugel beginnend von der letzten Reflexion, wie in der Abbildung 1, rekonstruieren.

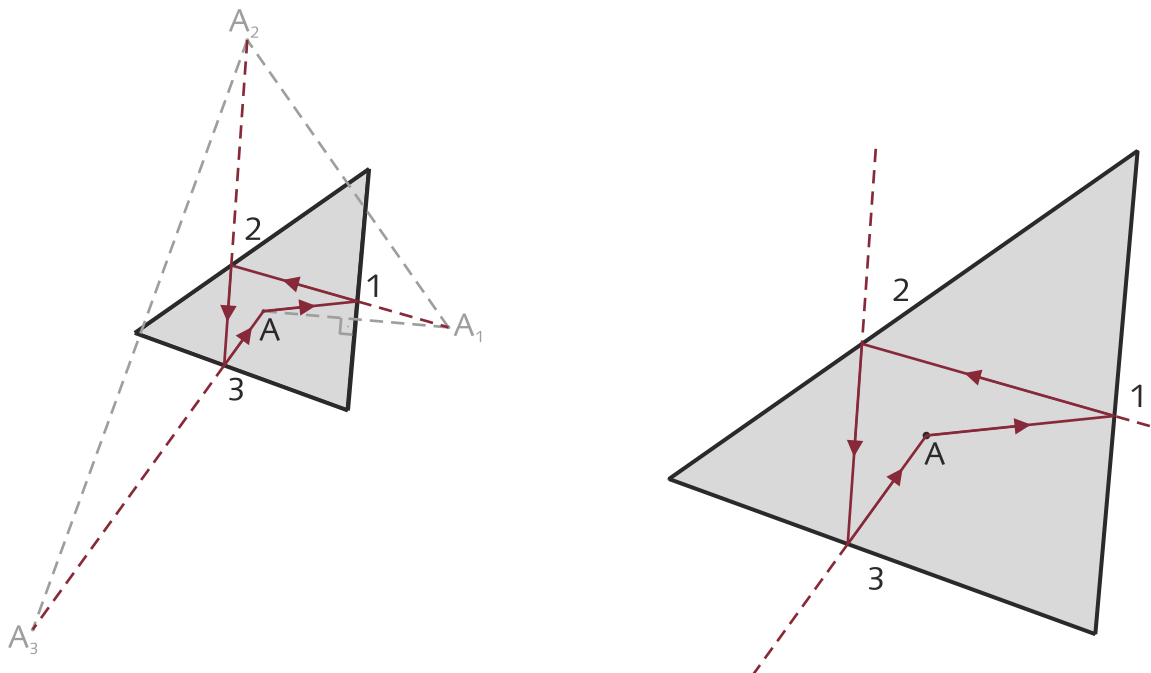


Abb. 1: Rekonstruierte Bahn der Billardkugel für den gesuchten Stoß mit den gespiegelten Punkten (links) und ohne die gespiegelten Punkte (rechts).

Aufgabe 2 Walabkühlung

(10 Pkt.)

Lösung

Die in der Abbildung eingetragene gestrichelte Linie entspricht der Umgebungstemperatur von 0°C . Wenn man nun die anfängliche Körpertemperatur des Wales auf den Startpunkt der Abkühlungskurve legt, lassen sich die Skalierung sowie der Nullpunkt der vertikalen Achse festlegen und die beiden in der Aufgabenstellung genannten Temperaturmesswerte auf der gegebenen Kurve eintragen.

Darüber hinaus ist der Zeitraum bekannt, in dem die Temperatur von 20°C auf 15°C abgesunken ist. Der zeitliche Abstand der beiden Punkte auf der Kurve beträgt also drei Tage, oder 72 Stunden. Damit ist auch die Skalierung der horizontalen Achse festgelegt. Die folgende Abbildung verdeutlicht dies.

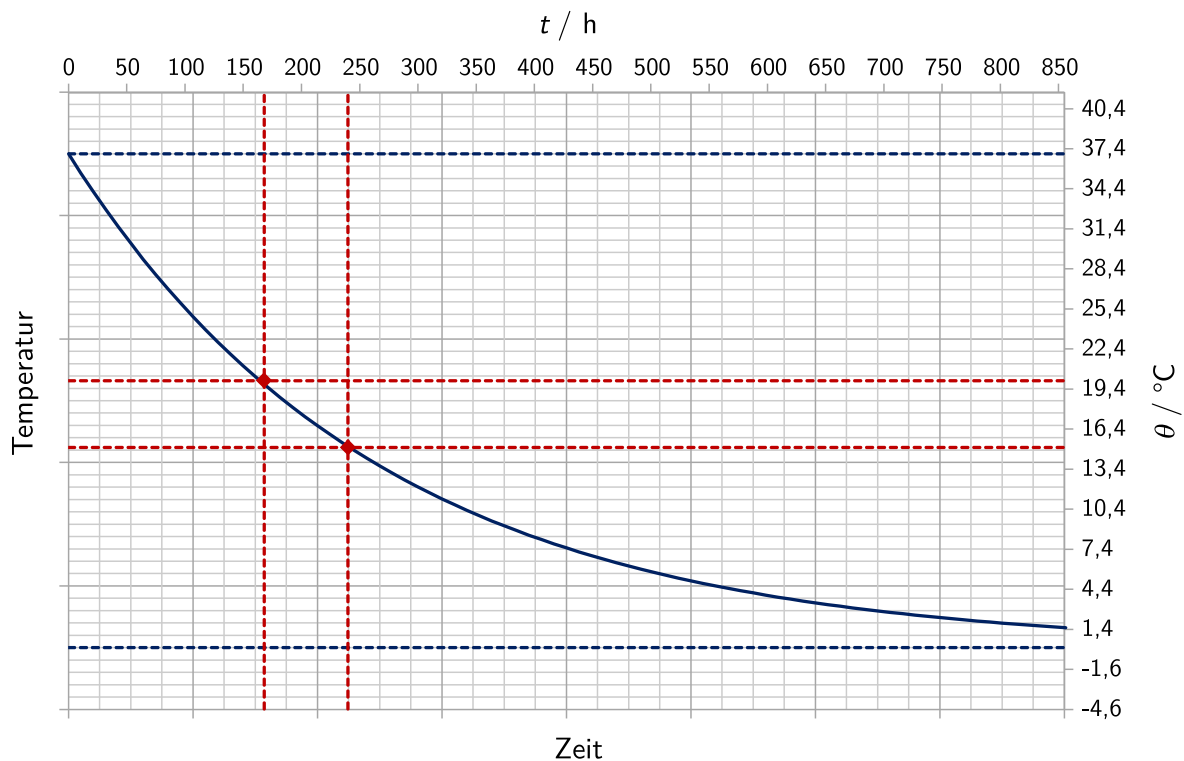


Abb. 2: Temperaturkurve mit Skalierung der Achsen für den abkühlenden Wal.

Der Todeszeitpunkt des Wales liegt also etwa 170 Stunden oder ungefähr 7 Tage vor der ersten Temperaturmessung. Der Wal ist daher vermutlich am 14.11.2011 verendet.

Ergänzende Information:

Das Modell geht von quasistationären Wärmeströmen aus, bei denen die Abkühlung so langsam erfolgt, dass sich zu jedem Zeitpunkt ein etwa konstanter und durch die Wärmeleitungsgleichung beschriebener Wärmestrom einstellen kann. Gerade anfänglich, wenn sich der gesamte Wal etwa auf einer gleichen Temperatur befindet, ist diese Näherung noch nicht sehr gut.

Bei dieser Abschätzung bleibt außerdem unberücksichtigt, dass im Inneren des toten Wales durch biologische Prozesse durchaus auch Wärme erzeugt werden kann. Die beobachtete Abkühlung eines Wales ist aber mit der Vernachlässigung der Wärmeproduktion beim Zersetzen

des Wales verträglich (s. z.B. Innes, S. (1986). How fast should a dead whale cool? *Canadian Journal of Zoology* **64**, 2064–2065).

Die gegebene Form der Kurve lässt sich für Körper mit einer quasistationären Temperaturverteilung auch theoretisch herleiten. Die Wärmeleistungsabgabe P eines Körpers folgt für nicht zu hohe Unterschiede zur Umgebungstemperatur dem Newton'schen Abkühlungsgesetz, nach dem diese proportional zur Temperaturdifferenz zwischen dem Körper und der Umgebung ist. Damit gilt

$$P = -k(T - T_{\text{Umgebung}}) = C \frac{dT}{dt}, \quad (2.1)$$

wobei $\frac{dT}{dt}$ die Änderung der Innentemperatur des Körpers mit der Zeit angibt und C ein Maß für die Wärmekapazität des Körpers ist. Durch Trennung der Variablen folgt

$$\frac{dT}{T - T_{\text{Umgebung}}} = -\frac{k}{C} dt. \quad (2.2)$$

Integration und Exponentieren führt damit auf

$$T = T_{\text{Umgebung}} + (T_0 - T_{\text{Umgebung}}) e^{-\frac{k}{C}(t-t_0)}. \quad (2.3)$$

Aus diesem Formelzusammenhang lässt sich mit den gegebenen Werten der Faktor k/C und damit auch der Todeszeitpunkt bestimmen.

Diese Herleitung wird von den Teilnehmenden jedoch nicht erwartet.

Aufgabe 3 Airbagsensor

(15 Pkt.)

Lösung

- a) Wenn die Beschleunigung des Fahrzeuges a beträgt, gilt nach dem zweiten Newton'schen Gesetz für die Kraft auf die mittlere Kondensatorplatte

$$F = ma = -2kx_{\text{GG}}, \quad (3.1)$$

wobei die letzte Gleichheit für die sich neu einstellende Gleichgewichtslage mit Hilfe des Hooke'schen Federgesetzes folgt. Die neue Gleichgewichtslage ist daher bei $x_{\text{GG}} = -ma/2k$. Die gesuchte maximale Auslenkung der Platte ist analog zu einem anfänglich ausgelenkten Federsystem das Doppelte dieses Wertes, also

$$x = -\frac{ma}{k}. \quad (3.2)$$

- b) Da die Abmessungen der Platten bei den gegebenen Werten sehr viel größer als der Abstand der Platten sind, kann man von einem homogenen elektrischen Feld innerhalb der Kondensatoren ausgehen. Die Kapazitäten C_1 (links) und C_2 (rechts) der beiden Plattenkondensatoren bei einer Verschiebung der mittleren Platte um eine Strecke x nach links betragen daher

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 A}{d-x}, \quad \text{sowie} \quad C_2 = \frac{\epsilon_0 A}{d+x}. \quad (3.3)$$

Zur Bestimmung der Spannung U_C über dem zusätzlichen Kondensator kann die Maschenregel, wie in der nebenstehenden Abbildung angedeutet, verwendet werden. Demnach sind

$$U_1 + U_C = U, \quad U_2 - U_C = U, \quad (3.4)$$

wobei U_C positiv gezählt wird, wenn der obere Anschluss des Kondensators auf einem höheren Potential als der untere liegt. Außerdem muss aufgrund der Erhaltung der Gesamtladung im mittleren Teil

$$Q_C = Q_1 - Q_2 \quad (3.5)$$

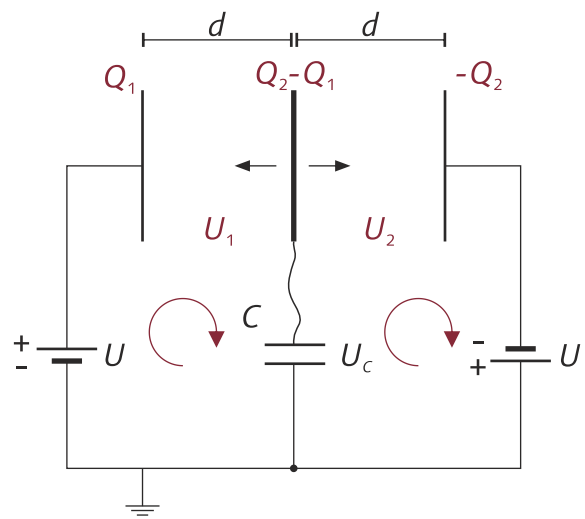


Abb. 3: Schaltskizze für Maschenregel.

gelten. Mit Hilfe von (3.3) und dem Zusammenhang $Q_i = C_i \cdot U_i$ lässt sich daraus die Kapazität C in Abhängigkeit von den auftretenden Parametern bestimmen zu

$$C = \frac{U}{U_C} (C_1 - C_2) - (C_1 + C_2) = \frac{2 \epsilon_0 A}{d^2 - x^2} \left(\frac{U}{U_C} x - d \right). \quad (3.6)$$

Für die Spannung über dem Kondensator gilt entsprechend

$$U_C = U \frac{C_1 - C_2}{C + C_1 + C_2} = U \frac{x}{\frac{C(d^2 - x^2)}{2 \epsilon_0 A} + d}. \quad (3.7)$$

Die Spannung U_C trägt also immer das gleiche Vorzeichen wie die Auslenkung, so dass deren Vorzeichen für die Bestimmung der Kapazität mit Hilfe von (3.6) keinen Unterschied macht.

Mit den gegebenen Werten und $x = \pm 10 \text{ m s}^{-2} \cdot \frac{m}{k} = \pm 1,0 \text{ mm}$ ergibt sich daraus

$$C \approx 3,1 \cdot 10^{-10} \text{ F} = 310 \text{ pF}. \quad (3.8)$$

Aufgabe 4 Eine Frage der Aufhängung
(15 Pkt.)
Lösung

Auf die Klopapierrolle wirken neben der nach unten ziehenden Kraft F_1 (bzw. F_2 bei dem losen Ende hinten) die Gewichtskraft mg der Rolle, die durch den Halter vermittelte Kraft F_H entlang der Haltestange, eine Kraft F_W senkrecht zur Wand und die Reibungskraft $F_{R,1}$ bzw. $F_{R,2}$ an der Wand¹.

Da sich der Schwerpunkt der Rolle nicht bewegen soll, müssen sich die auf die Rolle wirkenden Kräfte in horizontaler und vertikaler Richtung jeweils ausgleichen. Es muss also in beiden Fällen für den horizontalen Anteil gelten:

$$\text{Horizontal: } F_H \sin \alpha = F_W. \quad (4.1)$$

Für die vertikalen Kraftanteile ergeben sich dann:

$$\text{Vertikal: } F_H \cos \alpha = F_{R,1} + F_1 + mg, \quad \text{bzw. } F_H \cos \alpha + F_{R,2} = F_2 + mg. \quad (4.2)$$

So lange sich die Rolle nicht dreht, müssen sich auch die Drehmomente auf die Rolle bezüglich ihrer Rollachse ausgleichen. Es muss also zusätzlich gelten:

$$R F_1 = R F_{R,1} \quad \text{und} \quad R F_2 = R F_{R,2}. \quad (4.3)$$

Wenn die Klopapierrolle gerade noch nicht abrollt, wirkt die maximale Haftreibungskraft und es ist mit $i = 1$ oder 2

$$F_{R,i} = F_i = \mu F_W. \quad (4.4)$$

Aus den Gleichungen (4.1), (4.2) und (4.4) lassen sich nun die mindestens zum Abrollen benötigten Kräfte F_1 und F_2 bestimmen zu

$$\boxed{F_1 = \frac{1}{1 - 2\mu \tan \alpha} mg \mu \tan \alpha, \quad F_2 = mg \mu \tan \alpha}. \quad (4.5)$$

Es muss also weniger Kraft zum Ziehen aufgewendet werden, wenn das lose Ende des Papiers hinten herunterhängt.

Wenn das Klopapier hinreichend reißfest ist, kann die Rolle bei Aufhängung mit dem losen Ende nach hinten außerdem für $\alpha < 90^\circ$ immer abgerollt werden.

Für die Aufhängung mit dem losen Ende nach vorne divergiert die Kraft jedoch, wenn $\mu \tan \alpha$ von unten gegen $\frac{1}{2}$ geht. Das Papier wird also auf jeden Fall reißen, wenn

$$\boxed{\mu \tan \alpha \rightarrow \frac{1}{2}}. \quad (4.6)$$

Für einen Winkel $\alpha = 45^\circ$ zum Beispiel ist $\tan \alpha = 1$ und das Papier würde bei einem Haftreibungskoeffizienten der gegen $0,5$ geht also irgendwann reißen. In der Praxis wird dies

¹Die Kräfte F_H und F_W sind in beiden Situationen ebenfalls unterschiedlich. Zur besseren Lesbarkeit wurde hier aber auf eine weitere Kennzeichnung verzichtet.

allerdings schon bei kleineren Werten geschehen. Zum Glück liegen typische Haftreibungszahlen zwischen Papier und Kacheln bei unter 0,3. Darüber hinaus zieht man das Papier in der Regel ein wenig seitlich von der Rolle, so dass die Reaktionskraft der Wand und damit die Reibungskraft verringert wird.

Aufgabe 5 Eine heiße Frisur (Junioraufgabe)**(10 Pkt.)***Lösung*

Leider wird der Fön auch in diesem Fall sehr wahrscheinlich durchbrennen. Für die am Fön bei einer Netzspannung U umgesetzte Leistung P gilt nämlich

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R}, \quad (5.1)$$

wobei I die Stärke des durch den Fön fließenden Stroms angibt, die sich mit der Definition des elektrischen Widerstandes ausdrücken lässt durch $I = U/R$. Der Widerstand des Föns wird hier als konstanter Ohm'scher Widerstand angenommen.

Wenn der Fön, wie angegeben, in den USA nur noch die Hälfte der ursprünglichen Leistung umsetzt, muss die über dem Fön abfallende Spannung damit auf $\frac{U}{\sqrt{2}}$ reduziert sein.

Die nahezu doppelt so hohe Spannung in Europa führt dazu, dass bei gleichem Widerstand auch über dem Fön die doppelte Spannung, also etwa $2 \cdot \frac{U}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} U$ abfällt. Aufgrund des Zusammenhanges (5.1) ist damit die Leistungsaufnahme des Föns immer noch etwa doppelt so hoch wie in den USA, so dass der Fön trotz des Vorwiderstandes überlastet wird.

Bewertungsvorschläge

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 angegebenen Punktzahlen beziehen sich auf den von uns ausgearbeiteten Lösungsweg. Bei anderen Lösungswegen muss die Bewertung sinngemäß abgeändert werden, wobei die Gesamtpunktzahl pro Aufgabe beizubehalten ist.

Schülerinnen und Schüler, die im Schuljahr 2013/2014 noch nicht die vorletzte Jahrgangsstufe erreicht haben, können durch die Bearbeitung der **Junioraufgabe** einen Bonus von maximal 10 Punkten erreichen. Diese Regelung ersetzt die ehemalige automatische Vergabe von Bonuspunkten für jüngere Teilnehmende.

Auch Teilnehmerinnen und Teilnehmer, die nicht in die nächste Runde kommen, erhalten eine Teilnahmebestätigung für die 1. Runde. Bitte melden Sie daher auch diese unbedingt an Ihren Landesbeauftragten weiter. Die Punktegrenze für das Erreichen der zweiten Runde liegt in diesem Jahr bei **35 Punkten**.

Herzlichen Dank für Ihre Mitarbeit!

Bewertung Aufgabe 1 - Physikerbillard	Punkte
Verwendung des Reflexionsgesetzes für Stöße	2
Idee zur Betrachtung mehrfach gespiegelter Punkte bei Stößen	3
Konstruktion der relevanten Spiegelpunkte	3
Korrekte Rekonstruktion der Bahn	2
	10

Wird die Lösung durch Ausprobieren gefunden, sollten maximal die beiden ersten und die beiden letzten Punkte, also insgesamt vier Punkte vergeben werden.

Bewertung Aufgabe 2 - Walabkühlung	Punkte
Eintragen der anfänglichen Körpertemperatur des Wales auf der Kurve	1
Skalierung der vertikalen Achse mit den gegebenen Temperaturen	2
Eintragen der gegebenen Temperaturwerte auf der Kurve	2
Verwendung der gegebenen Zeitdifferenz zur Skalierung der horizontalen Achse	3
Angabe des korrekten Ergebnisses für Todeszeitpunkt	2
	10

Bewertung Aufgabe 3 - Airbagsensor		Punkte
a)	Anwendung des zweiten Newton'schen Axioms	1
	Verwendung des Hooke'schen Gesetzes	1
	Erkennen, dass die maximale Auslenkung dem Doppelten der Verschiebung der Ruhelage entspricht	1
	Angabe des Ergebnisses für maximale Auslenkung (auch wenn Faktor 2 fehlt)	1
b)	Bestimmung der Kapazitäten der beiden Plattenkondensatoren	2
	Anwendung der Maschenregel und Spannungsbilanzen (3.4)	3
	Betrachtung der Ladung auf dem Kondensator	1
	Ableiten eines analytischen Ausdruckes für C wie in (3.6)	3
	Berücksichtigung der Vorzeichen von x und U_C	1
	Bestimmung eines numerischen Ergebnisses für Kapazität C	1
		15

Bewertung Aufgabe 4 - Eine Frage der Aufhängung		Punkte
	Erkennen der relevanten Kräfte	2
	Aufstellen der Kraftgleichgewichte wie in (4.1) und (4.2)	2
	Aufstellen der Drehmomentgleichung wie in (4.3)	2
	Angabe des Zusammenhanges zwischen der von der Wand ausgeübten Kraft und der Reibungskraft	1
	Bestimmung der minimal notwendigen Kräfte (4.5)	4
	Vergleich der Kräfte	1
	Untersuchung der Fälle, bei denen das Klopapier reißen muss	2
	Begründung, warum dies in der Praxis nicht häufig eintritt	1
		15

Bonuspunkte, die jüngere Teilnehmende durch Bearbeitung der Junioraufgabe erhalten können:

Bewertung Aufgabe 5 (Junioraufgabe) - Eine heiße Frisur		Punkte
	Erkennen, dass der Fön auch in diesem Fall durchbrennen wird	2
	Angabe eines Ausdrucks für umgesetzte Leistung wie in (5.1)	2
	Erkennen, wie groß die über dem Fön abfallende Spannung bei Verwendung des Vorwiderstands sein muss	2
	Erkennen, dass eine doppelte Spannung zu einer vierfachen Leistung führt	2
	Angabe, dass trotz Vorwiderstandes etwa die doppelte Leistung umgesetzt wird	2
		10

Bewertungsbogen für die 1. Runde zur 45. IPhO 2014(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 Physikerbillard	10	
2 Walabkühlung	10	
3 Airbagsensor	15	
4 Eine Frage der Aufhängung	15	

Bonuspunkte für jüngere Teilnehmende

5 Eine heiße Frisur (Junioraufgabe)	10	
	50 (+10)	

Kommentare und Anregungen:

Unterschrift: _____