41. Internationale PhysikOlympiade

Zagreb, Kroatien 2010

Wettbewerbsleitung
Dr. Stefan Petersen
IPN an der Universität Kiel
Olshausenstraße 62
24098 Kiel
Tel: 0431 / 880 - 5120
petersen@ipn.uni-kiel.de
www.ipho.info

Lösungen und Bewertungsvorschläge zu den Aufgaben der 1. Runde des Auswahlverfahrens für die 41. IPhO 2010

Nur für die korrigierenden Lehrerinnen und Lehrer sowie die Landesbeauftragten

Liebe Fachlehrerinnen und Fachlehrer,

Ihnen gebührt unser besonderer Dank. Ohne Ihre Mithilfe bei der Vorbereitung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer sowie bei der Korrektur der Ausarbeitungen wäre es uns nicht möglich, das Auswahlverfahren für die Internationale PhysikOlympiade in dieser Form durchzuführen. So möchten wir Sie auch in diesem Jahr wieder darum bitten, Ihre Schülerinnen und Schüler zur Teilnahme anzuregen und die von Ihren Kandidaten eingereichten Bearbeitungen anhand des angehängten Bewertungsschemas zu korrigieren. Es ist festzustellen, dass leider immer noch verhältnismäßig wenig Mädchen an diesem Wettbewerb teilnehmen. Daher möchten wir Sie bitten, insbesondere diese zu ermuntern, die Aufgaben zu bearbeiten. Wir freuen uns sehr über Ihre Mitarbeit und wünschen Ihnen sowie Ihren Schülerinnen und Schülern viel Erfolg.

Die Stichtage für die Einsendung der Ergebnisse der 1. Runde liegen im Juli/August 2009 und können bei Ihrem Landesbeauftragten erfragt oder unter www.ipho.info gefunden werden. Da die Termine von Bundesland zu Bundesland variieren, geben Sie diese Lösungen bitte <u>nicht</u> vor Mitte September 2009 an die Schülerinnen und Schüler weiter!

Lösung Aufgabe 1: Rettungsaktion

Die Rettungsaktion wird leider misslingen. Zur Begründung betrachte die Bewegung des Archäologen, der am untersten Punkt seines Lianenschwunges eine Geschwindigkeit v besitzt, die sich nach der Energieerhaltung bestimmen lässt zu

$$v = \sqrt{2\,g\,h} \approx 45\,\mathrm{km\,h^{-1}}, \qquad (1)$$

wobei $h = 8\,\mathrm{m}$ die Höhendifferenz zwischen der Absprungseite und dem Schluchtboden ist.

Das Ergreifen der jungen Dame ist ein inelastischer Stoß, für den der Impulserhaltungssatz

$$M\,v = (M+m)\,v', \qquad \text{d.h.} \qquad v' = \frac{M}{M+m}v \qquad (2)$$

gilt. Hierbei bezeichnet M die Masse des Archäologen und m die der Frau. Mit der Geschwindigkeit v' schwingen die beiden sich auf eine Höhe von

$$h' = \frac{v'^2}{2\,g} = \frac{v^2\,M^2}{2\,g\,(M+m)^2} = \frac{h}{(1+\frac{m}{M})^2} \approx 3{,}3\,\mathrm{m}\,. \qquad (3)$$

Diese Höhe ist nicht ausreichend, um die andere Seite der Schlucht zu erreichen.

Die dargestellte Betrachtung vernachlässigt die Luftreibung. Der Einfluss der Luftreibung führt aber nicht zu einem anderen Ergebnis.

Bemerkung

Zusätzlich zu obiger Untersuchung kann man sich fragen, ob es überhaupt eine Chance gibt, die Frau ohne größere Verletzungen zu ergreifen.

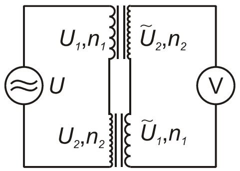
Nimmt man zum Beispiel stark idealisiert an, dass die Frau beim Ergreifen über eine Strecke, die der Armlänge des Archäologen von etwa $x = 0{,}5\,\mathrm{m}$ entspricht, gleichmäßig auf die Geschwindigkeit v' beschleunigt wird, ergibt sich für die Beschleunigung der Frau während des Ergreifens

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v'^2}{2\,x} = \frac{M^2\,v^2}{2\,(M+m)^2\,x} = \frac{g\,h\,M^2}{(M+m)^2\,x} \approx 6{,}6\,g\,. \qquad (4)$$

Die zu Rettende könnte den Rettungsvorgang demnach unverletzt überstehen. Diese Betrachtung ist zum Ausschließen einer erfolgreichen Rettung also nicht ausreichend.

Andere Modellierungen des Beschleunigungsvorganges können aber auch zu dem Ergebnis führen, dass der Rettungsversuch aufgrund der beim Ergreifen auftretenden Kräfte scheitern muss. Eine physikalisch sinnvolle Abschätzung mit diesem Ergebnis sollte auch als korrekte Lösung bewertet werden.

Lösung Aufgabe 2: Transformatoren



Bezeichne mit U_1 bzw. U_2 die auf der Primärseite und mit $\tilde{U}_1$ bzw. $\tilde{U}_2$ die auf der Sekundärseite über den Spulen abfallenden Spannungen. Außerdem sei $k := n_1 / n_2$ das Verhältnis der Primär- zur Sekundärwindungszahl des Transformators, über dem U_1 auf der Primärseite abfällt.

Durch die an die Spannungsquelle angeschlossenen Spulen muss nach der Knotenregel stets der gleiche Strom fließen. Nach dem Induktionsgesetz ist der Spannungsabfall über einer Spule proportional zur Induktivität L und der zeitlichen Änderung des Stromes. Die Induktivität wiederum ist proportional zum Quadrat der Windungszahl, so dass

$$U_1 \sim n_1^2 \quad \text{und} \quad U_2 \sim n_2^2. \tag{5}$$

Da die Spulen gleiche Querschnittsflächen und Längen besitzen, sind die Proportionalitätskonstanten gleich, und es ergibt sich

$$\frac{U_1}{U_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 = k^2. \tag{6}$$

Außerdem gilt nach der Maschenregel und der Umwandlung der Spannung am Transformator gemäß

$$U = U_1 + U_2, \qquad \text{sowie} \qquad \tilde{U} := \frac{3}{5}U = \widetilde{U_2} + \widetilde{U_1} = \frac{1}{k}U_1 + kU_2, \tag{7}$$

wobei $\tilde{U}$ die an der Sekundärseite gemessene Spannung ist. Aus den Gleichungen in (7) folgt

$$U_1 = \frac{k}{1-k^2}(\tilde{U} - kU) \quad \text{und} \quad U_2 = \frac{1}{1-k^2}(U - k\tilde{U}). \tag{8}$$

Mit (6) ergibt sich daraus

$$\frac{U}{\tilde{U}} = \frac{1+k^2}{2k}. \tag{9}$$

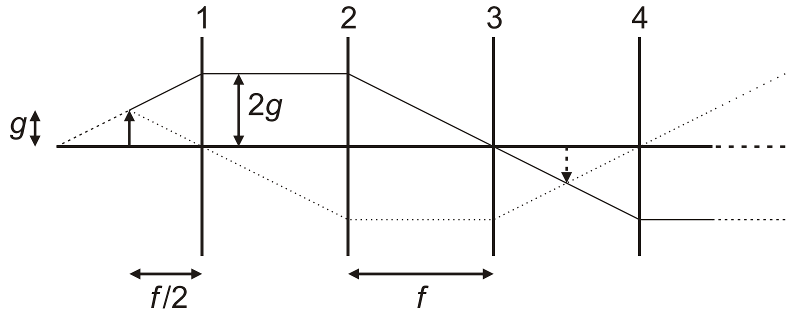
Damit ergeben sich schließlich für das gesuchte Verhältnis die beiden Lösungen

$$k_{1,2} = \frac{U}{\tilde{U}} \pm \sqrt{\frac{U^2}{\tilde{U}^2} - 1} = \begin{cases} 3 & \text{für } + \\ 1/3 & \text{für -} \end{cases}. \tag{10}$$

Die zweite Lösung ist gerade der Kehrwert der ersten und beschreibt somit die gleiche Situation.

Lösung Aufgabe 3: Identische Linsen

Zur Untersuchung der entstehenden Bilder kann man den Strahlengang in dem Linsensystem zeichnen.



Direkt vor der vierten Linse verläuft der Strahlengang ähnlich wie vor der ersten Linse, nur dass der Strahlengang an der optischen Achse gespiegelt ist. Vor der siebten Linse ist der Strahlengang daher wieder der gleiche wie vor der ersten Linse.

Es ist also ausreichend, den Strahlengang bis vor der vierten Linse zu untersuchen. Aus der Skizze ergeben sich folgende Daten für die Bildweiten b, d.h. dem Abstand von der letzten Linse, und die Vergrößerungen V der entstehenden Bilder:

Nach Durchgang durch eine Linse:	virtuell		
Nach Durchgang durch zwei Linsen:	reell, invertiert	$b = 2f$	$V = 2$
Nach Durchgang durch drei Linsen:	reell, invertiert	$b = f/2$	$V = 1$
Nach Durchgang durch vier Linsen:	virtuell		
Nach Durchgang durch fünf Linsen:	reell, aufrecht	$b = 2f$	$V = 2$
Nach Durchgang durch sechs Linsen:	reell, aufrecht	$b = f/2$	$V = 1$

Diese Abfolge wiederholt sich für alle weiteren Linsen, so dass für die Art des entstehenden Bildes die Anzahl N modulo 6 relevant ist. Die Situation nach dem Durchgang durch sechs Linsen entspricht dabei gerade der Ausgangssituation.

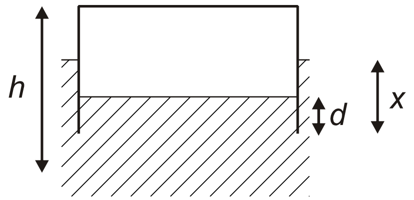
Lösung Aufgabe 4: Schwimmende Glasschale

Wenn die Glasschale schwimmt, ist nach dem archimedischen Prinzip die Gewichtskraft der Schale gleich der des verdrängten Wassers. Es gilt also

$$m_{\text{Schale}}\, g = \rho_{\text{Wasser}}\, A \frac{h}{2} g\,. \tag{11}$$

Hierbei bezeichnet h die Höhe der Schale und A dessen Querschnittsfläche. Die Masse der Schale ist also gleich der Wassermasse in einer halbvollen Schale.

Wird die Schale umgedreht, so dringt Wasser in die Schale ein. Bezeichne die Eintauchtiefe der Schale in diesem Fall mit x und die Höhe, bis zu der das Wasser in der Schale steigt, mit d. Das archimedische Prinzip liefert für diesen Fall



$$m_{\text{Schale}}\, g = \rho_{\text{Wasser}}\, A(x-d)\, g\,, \tag{12}$$

so dass

$$x-d=\frac{h}{2} \tag{13}$$

gelten muss.

Der hydrostatische Druck auf das in der Schale eingeschlossene Gas beträgt $\rho_{\text{Wasser}}\, g\,(x-d)$. Mit der idealen Gasgleichung ergibt sich daraus für die Volumina des in der Schale eingeschlossenen Gases:

$$p_0\, A h = \left(p_0 + \rho_{\text{Wasser}}\, g\,(x-d)\right)(h-d)\, A, \tag{14}$$

wobei p_0 den Atmosphärendruck bezeichnet. Mit $x-d=h/2$ ergibt sich aus der Gleichung (14)

$$d = h\left(1-\frac{2\,p_0}{2\,p_0+\rho_{\text{Wasser}}\, g\, h}\right) = \frac{\rho_{\text{Wasser}}\, g\, h^2}{2\,p_0+\rho_{\text{Wasser}}\, g\, h}. \tag{15}$$

Daraus lässt sich die neue Eintauchtiefe berechnen zu

$$x = \frac{h}{2}+d = h\left(\frac{3}{2}-\frac{2\,p_0}{2\,p_0+\rho_{\text{Wasser}}\, g\, h}\right) \approx 7{,}6\,\text{cm}. \tag{16}$$

Die Eintauchtiefe ist in diesem Fall also nur geringfügig größer.

Da die Masse der Schale gerade der Wassermasse in der halbvollen Schale entspricht, sinkt die Schale nach unten, wenn das eingeschlossene Luftvolumen

weniger als die Hälfte des ursprünglichen Volumens beträgt. Es gilt für den Grenzfall mit $d=h/2$ nach Gleichung (14)

$$p_0\, A h = \left(p_0+\rho_{\text{Wasser}}\, g\left(x-\frac{h}{2}\right)\right)\frac{h}{2} A, \tag{17}$$

so dass sich

$$x = \frac{h}{2}+\frac{p_0}{\rho_{\text{Wasser}}\, g} \approx 10\,\text{m} \tag{18}$$

ergibt. Die Schale muss also etwa zehn Meter unter Wasser gedrückt werden, damit sie nicht mehr auftaucht, sondern bis zum Boden sinkt.

Bewertungsvorschläge

Gemäß den Gepflogenheiten bei der Internationalen PhysikOlympiade sollte nur die Richtigkeit der Lösung bewertet werden, 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 2008/2009 noch nicht die elfte Klasse erreicht haben, erhalten einen **Bonus von 5 Punkten.**

Schicken Sie bitte die korrigierten und bewerteten Arbeiten an den für Ihr Bundesland zuständigen Landesbeauftragten, die/der Ihnen auch für Rückfragen zur Verfügung steht. Die Kontaktdaten können Sie dem Handzettel oder der IPhO Webseite www.ipho.info entnehmen. Der Stichtag für die Einsendung wird von Ihrem Bundesland festgelegt und kann ebenfalls bei den Landesbeauftragten erfragt werden.

Achten Sie bitte unbedingt darauf, dass für jede Teilnehmerin und jeden Teilnehmer das beiliegende Adressformular vollständig ausgefüllt den Arbeiten beigefügt und die Bewertung auf der Rückseite eingetragen ist. Das Formular kann auch unter www.ipho.info runtergeladen werden.

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

Herzlichen Dank für Ihre Mühe!

Aufgabe 1: Rettungsaktion	Punkte
Erkennen der Energieerhaltung	1
Energiesatz bzw. Ergebnis (1)	2
Ansatz eines inelastischen Stoßes	1
Impulserhaltung und (2)	2
Formel und Ergebnis in (3) für erreichbare Höhe	2
Ergebnis, dass es nicht möglich ist, auf die andere Seite zu gelangen	2
	10

Eine Begründung alleine über die beim Ergreifen auftretenden Kräfte sollte nur dann als richtig bewertet werden, wenn die Kräfte bzw. Beschleunigungen auch quantitativ untersucht werden.

Aufgabe 2: Transformatoren	Punkte
Knotenregel – Strom in Spulen gleich	2
Induktionsgesetz und Proportionalität (5)	2
Erkennen identischer Proportionalitätskonstanten und (6)	2
Verwendung der Maschenregel in (7)	2
Umwandlung der Spannungen am Transformator in (7)	2
Umformung analog (8) und (9) zu quadratischer Gleichung in k	3
Lösungen (10) für Windungszahlverhältnis	2
	15

Aufgabe 3: Identische Linsen	Punkte
Idee zur Lösung über die Betrachtung der Strahlengänge	3
Erkennen und Angabe der Periodizität der entstehenden Bilder	3
Angabe zu den reellen Bildern für eines der Periodizitätsintervalle	4
	10

Aufgabe 4: Schwimmende Glasschale	Punkte
Archimedisches Prinzip und (11) für den ersten Fall	2
Masse der Schale entspricht der Wassermasse in halbvoller Schale	1
Archimedisches Prinzip und (12) für den umgedrehten Fall	2
Zusammenhang (13) zwischen Eintauchtiefe und Wassersteighöhe	1
Betrachtung des hydrostatischen Druckes	1
Verwendung der Gasgleichung und (14)	2
Berechnung der Eintauchtiefe analog (15) und (16)	2
Betrachtung des schwebenden Grenzfalls (17)	2
Bestimmung der minimalen Eintauchtiefe für das Absinken (18)	2
	15

Summe	**50**