

56. Internationale PhysikOlympiade

Bucaramanga, Kolumbien 2026



Wettbewerbsleitung der PhysikOlympiade

Dr. Stefan Petersen

Dürken Quaas

Tel.: 0431 880-5120

Tel.: 0431 880-5387

email: ipho@scienceolympiaden.de

Anschrift: PhysikOlympiade am IPN

Olshausenstraße 62, 24118 Kiel

web: www.scienceolympiaden.de/ipho

Klausur der 2. Runde im Auswahlwettbewerb zur 56. IPhO 2026

Beachte unbedingt die Regeln und Hinweise für die Klausur!

In der Klausur sind **maximal 70 Punkte** zu erreichen;
35 Punkte in den Multiple-Choice Aufgaben und 35 Punkte bei den längeren Aufgaben.

Ich versichere, die Klausur entsprechend den Regeln und Hinweisen, ohne fremde Hilfe und innerhalb von 150 Minuten geschrieben zu haben.

Name: *Name*

Schülercode: *Code*

Unterschrift: _____



Multiple-Choice Aufgaben

Finde zu jeder der folgenden sieben Fragen den richtigen Lösungsbuchstaben und begründe physikalisch, warum dies die korrekte Lösung ist. Es ist jeweils nur eine Antwortmöglichkeit richtig. Nutze den Platz in der Box für Rechnungen sowie Begründungen und notiere deinen Antwortbuchstaben an der vorgesehenen Stelle am Ende jeder Box.

Aufgabe 1 Küstenkartierung (MC-Aufgabe)

(5.0 Pkt.)

Mit Hilfe von Lasern, die in Flugzeugen montiert sind, lassen sich küstennahe Gewässer kartieren. Dazu werden kurze Laserpulse in verschiedene Richtungen ausgesendet, die diffus teils an der Wasseroberfläche und teils am Meeresboden reflektiert werden. Dadurch gelangt ein Teil des ausgesendeten Lichts wieder zum Flugzeug, wo es detektiert und ausgewertet wird.

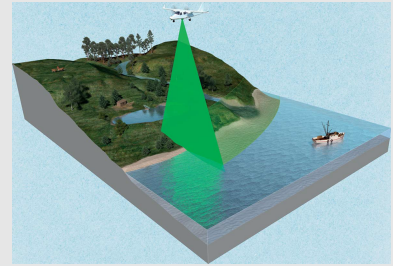


Abb. 1. Veranschaulichung der Kartierung mit einem Laser (Bildquelle GEUS).

Betrachte ein Flugzeug, dass in einer konstanten Höhe entlang eines Küstenstreifens fliegt. Der folgende Graph zeigt die Signalstärke des reflektierten Signals eines Laserpulses in Abhängigkeit von der Zeit. Der Zeitnullpunkt ist dabei so gewählt, dass das gesamte reflektierte Signal dargestellt ist. Nimm an, dass der Laserpuls in einem Lotwinkel von 40° auf die Wasseroberfläche trifft und dass der Brechungsindex des Wassers 1,33 beträgt.

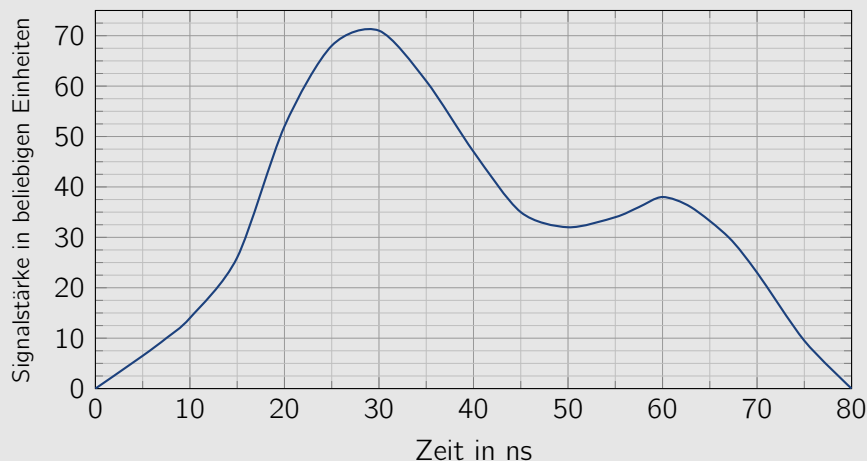


Abb. 2. Signalstärke in Abhängigkeit von der Zeit (der Punkt $t = 0$ ist beliebig).

Wie tief ist das Wasser an der untersuchten Stelle?

- A 2,7 m B 3,1 m C 4,1 m D 6,1 m

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Korrekte Antwort:

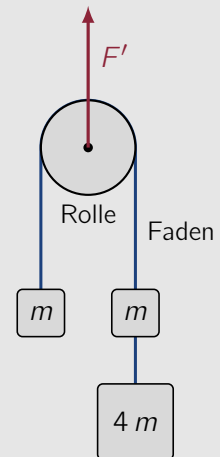
Aufgabe 2 Atwoodsche Fallmaschine (MC-Aufgabe)

(5.0 Pkt.)

Professor Atwood kommt gerade von einer Tagung zurück, da bastelt er schon am nächsten Experiment: Er legt einen Faden über eine Rolle und befestigt an beiden Enden des Fadens je einen Körper der Masse m . Nimm an, dass der Faden und die Rolle masselos sind und dass die Rolle frei um ihre zentrale Achse rotieren kann. Er hält nun die Achse der Rolle fest und misst die Kraft F , mit welcher er sie nach oben ziehen muss, um die Rolle mit den Körpern an ihrer Position zu halten.

Jetzt hängt er, wie in der Abbildung gezeigt, an das rechte Massestück einen zusätzlichen Körper mit der Masse $4m$. Er hält wieder die Achse fest.

Wie groß ist die Kraft F' , mit der er in der gezeigten Situation an der Achse ziehen muss, um sie an ihrer Position zu halten?



- A $\frac{5}{3}F$ B $2F$ C $\frac{5}{2}F$ D $3F$

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

Aufgabe 3 Tauchende Tasse (MC-Aufgabe)**(5.0 Pkt.)**

Eine Tasse der Masse $m = 200\text{ g}$ mit einem Füllvolumen $V_0 = 250\text{ mL}$ und einer Höhe H wird umgedreht und in einem großen Wasserbecken mit konstanter Wassertemperatur versenkt. Dadurch wird eine Luftschicht eingeschlossen und drückt die Tasse nach oben. Die Dichte von Wasser ist $\rho = 1,0 \cdot 10^3\text{ kg m}^{-3}$. Nimm an, dass die Tasse einen zylindrischen Querschnitt hat und die Dicke von Wand sowie Boden der Tasse vernachlässigt werden können. Gehe außerdem davon aus, dass die Tasse stets umgedreht bleibt und nicht zur Seite kippt.

Bei welchen Tiefen kann die Tasse schweben?

Mit Tiefe ist hierbei die Differenz der Höhen der Wasserspiegel in Tasse und Wasserbecken gemeint.

- A $\frac{1}{5} H$ und 2,6 m B $\frac{1}{5} H$ und 12,9 m C $\frac{4}{5} H$ und 2,6 m D $\frac{4}{5} H$ und 12,9 m

Antwortteil

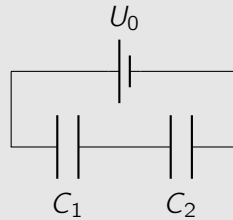
Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

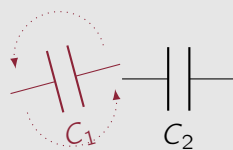
Aufgabe 4 Gedrehter Kondensator (MC-Aufgabe)

(5.0 Pkt.)

Zwei Kondensatoren mit den Kapazitäten $C_1 = 2,0 \text{ nF}$ und $C_2 = 8,0 \text{ nF}$ werden, wie in der folgenden Abbildung gezeigt, in Reihe an eine Spannungsquelle mit der Spannung $U_0 = 10,0 \text{ V}$ angeschlossen:



Anschließend werden die Kondensatoren von der Spannungsquelle getrennt, und einer der Kondensatoren wird um 180° gedreht. Nun werden die Kondensatoren kurzgeschlossen:



Welche Spannung ergibt sich am gedrehten Kondensator?

A 0 V

B 1,6 V

C 3,2 V

D 5,0 V

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Korrekte Antwort:

Aufgabe 5 Lissajous-Pendel (MC-Aufgabe)

(5.0 Pkt.)

Ein Fadenpendel wird, wie nebenstehend skizziert, an zwei Fäden aufgehängt, die V-förmig zusammenlaufen. Die Höhe des V ist dabei gleich der Länge ℓ des Fadenpendels darunter. Die Größe des Pendelkörpers und die Massen der Fäden sind vernachlässigbar.

Der Pendelkörper wird nun leicht aus seiner Ruhelage ausgelenkt und losgelassen. Zeichnet man die Bewegung des Pendelkörpers in der horizontalen Ebene auf, so ergeben sich schöne Bilder.

Welches der folgenden Bilder könnte mit obigem Pendel erzeugt worden sein?

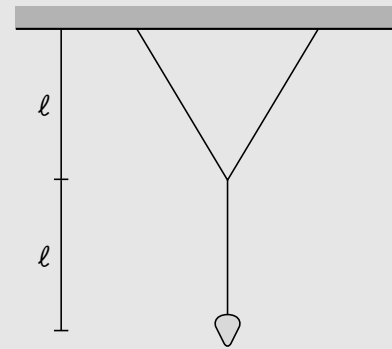


Abb. 3. Skizze des Pendelaufbaus.

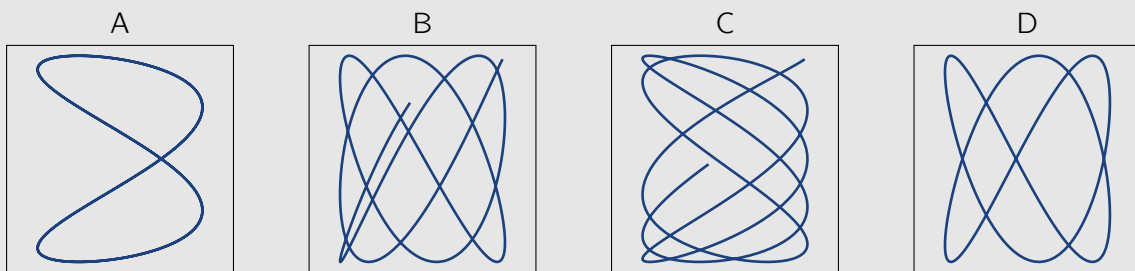


Abb. 4. Kandidaten für Spuren des Pendelkörpers in der horizontalen Ebene.

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Korrekte Antwort:

Aufgabe 6 Wasser gefrieren (MC-Aufgabe)**(5.0 Pkt.)**

Mit einer Wärmepumpe einer elektrischen Leistung von 50 W sollen 2,0 kg Wasser einer Temperatur von 0 °C in einem thermisch perfekt isolierten Gefäß gefroren werden. Die Außentemperatur beträgt dabei 25 °C. Die Schmelzenthalpie von Wasser beträgt 334 kJ kg^{-1} .

Welche minimale Zeit wird für das Gefrieren auf jeden Fall benötigt?

- A etwa 6 min B etwa 11 min C etwa 15 min D etwa 20 min

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

Aufgabe 7 Kaonzerfall (MC-Aufgabe)**(5 Pkt.)**

Ein Kaon, das sich mit der Geschwindigkeit $0,80\,c$, also 80% der Lichtgeschwindigkeit, im Laborsystem bewegt, zerfällt in zwei Pionen, die sich danach in bzw. gegen die ursprüngliche Bewegungsrichtung des Kaons bewegen. Weitere Teilchen entstehen durch den Zerfall nicht. Für die Ruheenergien $E_{0,K}$ und $E_{0,\pi}$ von Kaon bzw. Pion gilt die Beziehung

$$\kappa = \frac{E_{0,K}}{E_{0,\pi}} = 3,68.$$

Mit welchen Geschwindigkeiten bewegen sich die beiden Pionen nach dem Zerfall im Laborsystem?

- A $-0,039\,c$ und $0,99\,c$
- B $-0,12\,c$ und $0,98\,c$
- C $-0,19\,c$ und $0,92\,c$
- D $-0,21\,c$ und $0,89\,c$

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

Langaufgaben

Bearbeite die folgenden zwei Aufgaben ebenfalls in den dafür vorgesehenen Boxen. Anders als bei den Multiple-Choice Aufgaben sind keine Lösungsmöglichkeiten gegeben. Beschreibe deinen Lösungsweg so, dass er gut nachvollziehbar aber nicht unnötig lang ist. Wenn du also zum Beispiel den Energieerhaltungssatz verwendest, schreibe dies kurz hin.

Aufgabe 8 Bleistiftmine

(17.0 Pkt.)

Eine Bleistiftmine gleitet in einem vertikalen homogenen Magnetfeld der magnetischen Flussdichte B reibungsfrei auf zwei um den Winkel $\alpha = 30^\circ$ gegen die Horizontale geneigten, parallelen und ideal leitenden Metallschienen herab. Der Abstand der Schienen beträgt $L = 10\text{ cm}$ und der Überstand der Mine über die Metallschienen kann vernachlässigt werden. An den Schienen ist eine ideale Spannungsquelle der Spannung $U_0 = 10\text{ mV}$ mit einem Schalter angeschlossen. Mine, Schienen, Schalter und Spannungsquelle bilden zusammen einen Stromkreis. Der Aufbau ist in Abbildung 5 skizziert.

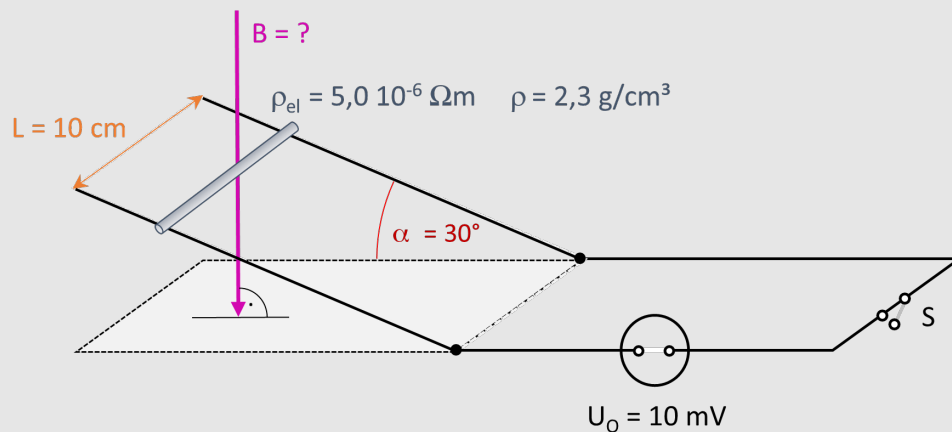


Abb. 5. Skizze zur gleitenden Bleistiftmine

Wird der Schalter geschlossen, so bleibt die Bleistiftmine stehen. Wird der Schalter geöffnet, so gleitet die Mine weiter. Verwende für den spezifischen Widerstand der Mine den Wert $\rho_{\text{el}} = 5,0 \cdot 10^{-6}\text{ }\Omega\text{ m}$ sowie für die Dichte $\rho = 2,3 \cdot 10^3\text{ kg m}^{-3}$.

- Gib an, ob die im Bild vordere oder die hintere Schiene am positiven Pol der Gleichspannungsquelle anliegt und begründe dies physikalisch. (2.0 Pkt.)
- Bestimme die Größe B der magnetischen Flussdichte und überprüfe die Korrektheit der Einheiten deines Ergebnisses mit einer Einheitenprobe. (8.0 Pkt.)
- Bestimme die sich einstellende Geschwindigkeit v_H mit der die Bleistiftmine hangabwärts gleitet, wenn die Flussdichte des Magnetfeldes halbiert wird. Führe eine Einheitenprobe für das Ergebnis durch. (7.0 Pkt.)

Antwortteil

8.a)

Rechnungen und Erläuterungen

8.b)

Rechnungen und Erläuterungen

Ausdruck und Wert für die magnetische Flussdichte mit Einheitenprobe:

8.c) Rechnungen und Erläuterungen

Ausdruck und Wert für die sich einstellende Geschwindigkeit mit Einheitenprobe:

Aufgabe 9 Swing-By Manöver und Pioneer-Anomalie**(18.0 Pkt.)**

Die Raumsonde Pioneer 10 wurde 1972 zur Erkundung des äußeren Sonnensystems gestartet und sollte als eines der ersten Raumfahrzeuge das Sonnensystem endgültig verlassen. Mittlerweile befindet sie sich etwa 140 Astronomische Einheiten von der Sonne entfernt.

Nach dem Start hat Pioneer 10 das Schwerefeld der Erde mit einer Geschwindigkeit von $v_0 = 9,4 \text{ km s}^{-1}$ relativ zur Erde und tangential zu ihrer Umlaufbahn verlassen. Von dort flog die Sonde Richtung Jupiter, um ein Swing-by Manöver durchzuführen, das ein Verlassen des Sonnensystems ermöglichen sollte.

Betrachte im Folgenden alle Prozesse innerhalb der Ekliptik und nimm an, dass die Planeten die Sonne auf Kreisbahnen im gleichen Drehsinn umlaufen. Außerdem können folgende Werte für die Bearbeitung verwendet werden:

Radius der Erdbahn (Astronomische Einheit)	$1 \text{ AE} = 149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$
Radius der Jupiterbahn	$r_J = 5,2 \text{ AE}$
Sonnenmasse	$M_S = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
Solarkonstante (Leistung der Sonnenstrahlung im Erdorbit)	$E_0 = 1367 \text{ W m}^{-2}$

- 9.a) Bestimme die Bahngeschwindigkeit v_2 , mit der die Sonde bei der Umlaufbahn des Planeten Jupiter angekommen ist. Nimm dabei an, dass auf die Sonde nur die Gravitationskraft der Sonne wirkt. Bestimme die Geschwindigkeitsanteile $v_{2,\varphi}$ tangential und $v_{2,r}$ senkrecht zur Umlaufbahn von Jupiter. (6.0 Pkt.)

Mit Hilfe eines Flugmanövers durch das Schwerefeld des Jupiters konnte die Raumsonde ihre Geschwindigkeit relativ zur Sonne deutlich erhöhen. Nimm an, dass dieses Swing-by Manöver so durchgeführt wurde, dass die Sonde das Sonnensystem mit möglichst hoher Geschwindigkeit verlassen kann. Du kannst außerdem davon ausgehen, dass die Zeit, in der Pioneer 10 mit Jupiter gravitativ wechselwirkt, klein verglichen mit der Umlaufzeit ist und dass während des Manövers die Gravitationskraft zwischen Sonde und Jupiter dominierend ist.

- 9.b) Bestimme die Radialgeschwindigkeit $v_r(r)$ und insbesondere die Grenzgeschwindigkeit $v_r(\infty)$ der Sonde nach dem Swing-by Manöver als Funktion des Abstandes r zur Sonne. (6.0 Pkt.)

Nachdem sich die Sonde im Jahr 1980 mit 20 AE weit genug von der Sonne entfernt hatte, um den Einfluss verschiedener Kräfte genau genug vorhersagen zu können, wurde eine unerklärliche, winzige Komponente in deren Beschleunigung entdeckt. Diese sogenannte Pioneer-Anomalie hat Anlass zu zahlreichen Spekulationen über mögliche Modifikationen der Naturgesetze gegeben.

Die stärkste Kraft auf die Sonde, deren Masse zu 241 kg angenommen werden kann, wird nach der Gravitation von dem Strahlungsdruck durch die Sonnenstrahlung verursacht. Die Parabolantenne, die einen Durchmesser von $d = 2,77 \text{ m}$ besitzt und bei größeren Entfernungen etwa in Richtung Sonne zeigt, absorbiert 20 % des Sonnenlichts und reflektiert den Rest zurück in Richtung Sonne.

- 9.c) Bestimme näherungsweise, welche Beschleunigung sich aus dem Strahlungsdruck der Sonne für die Sonde in einem Abstand $r \gg 1 \text{ AE}$ zur Sonne ergibt. Gib an, wie groß der Beitrag im Jahr 1990 für $r = 50 \text{ AE}$ gewesen ist und vergleiche ihn mit der Beschleunigung durch die Gravitation im Schwerefeld der Sonne. (6.0 Pkt.)

Die beobachtete, unerklärte Beschleunigung war zwar in ähnlicher Größenordnung, zeigte allerdings in Richtung Sonne. Daher wurden auch weitere Effekte wie der Sonnenwind, der Einfluss anderer Himmelskörper, der Rückstoß durch das Funkmodul und vor allen Dingen nicht-isotrope thermische Emission untersucht, die am Ende, bis auf Abweichungen im Rahmen der Unsicherheiten, eine Erklärung für die Pioneer-Anomalie liefern konnten.

Antwortteil

9.a)

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die Bahngeschwindigkeit und deren Komponenten:

9.b)

Rechnungen und Erläuterungen

Ausdruck für die Radialgeschwindigkeit und Ergebnis für Grenzggeschwindigkeit:

9.c)

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für Beschleunigung durch Strahlungsdruck und Vergleich mit Gravitationsbeschleunigung:

Zusätzliches Arbeitspapier

Zusätzliches Arbeitspapier

Zusätzliches Arbeitspapier**Millimeterpapier**