57. Internationale PhysikOlympiade

Riad, Saudi-Arabien 2027

PhysikOlympiade in Deutschland

email: ipho@scienceolympiaden.de
Telefon: 0431 880-5387 oder 0431 880-5120
Anschrift: PhysikOlympiade am IPN
Olshausenstraße 62, 24118 Kiel
web: www.scienceolympiaden.de/ipho

Klausur der 2. Runde im Auswahlwettbewerb zur 57. IPhO 2027

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 unerlaubte Hilfsmittel und fremde Hilfe innerhalb von 150 Minuten geschrieben zu haben. Mir ist bewusst, dass das Nichteinhalten der Regeln und Hinweise zur Disqualifikation führen kann.

Name: **Schülercode:**

Unterschrift: _____

IPN Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik

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 Kreatives Experimentieren (MC-Aufgabe) (5.0 Pkt.)

Für eine Experimentierchallenge werden dir an deinem Tisch ein Besenstiel, ein Bleistift, eine Stoppuhr sowie die Werte der auf dem Infoblatt enthaltenen Konstanten zur Verfügung gestellt.

Welche der folgenden Größen kannst du mit diesen Dingen experimentell bestimmen?

I - Länge des Besenstiels II - Masse des Bleistifts III - Schwerpunkte von Besenstiel und Bleistift

A nur I und II B nur I und III C nur II und III D alle drei Größen

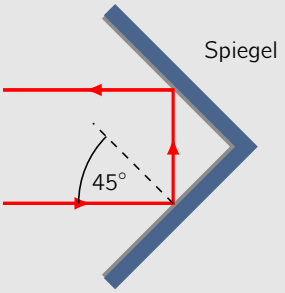
Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

Aufgabe 2 Rechtwinklige Spiegel (MC-Aufgabe) (5.0 Pkt.)

Ein Lichtstrahl trifft, wie nebenstehend skizziert, unter einem Einfallswinkel von 45° auf einen Spiegel, der Teil einer rechtwinkligen Spiegelanordnung ist. Durch diese wird der Lichtstrahl parallel zum einfallenden Strahl zurückgeworfen.



Nun wird die Spiegelanordnung so im Uhrzeigersinn gedreht, dass der Einfallswinkel des Lichtstrahls 60° beträgt.

Wie verändert sich dadurch der ausfallende Lichtstrahl?

A Der ausfallende Strahl wird um 15° gedreht.

B Der ausfallende Strahl wird um 30° gedreht.

C Der ausfallende Strahl wird um 60° gedreht.

D Der ausfallende Strahl ist immer noch parallel zum einfallenden Strahl.

Antwortteil

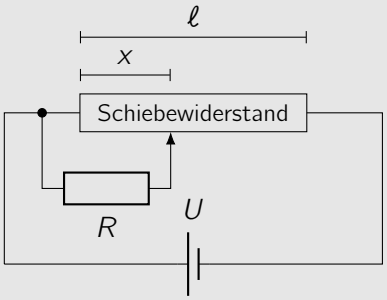
Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

Aufgabe 3 Spannungsteiler (MC-Aufgabe) (5.0 Pkt.)

Ein Widerstand mit Widerstandswert $R = 20\,\Omega$ wird, wie nebenstehend skizziert, mit Hilfe eines Schiebewiderstandes in Spannungsteilerschaltung an eine Batterie mit Spannung $U = 10{,}0\,\mathrm{V}$ angeschlossen.

Der Schiebewiderstand besitzt eine Länge $\ell = 40\,\mathrm{cm}$ und einen Gesamtwiderstand $R_\mathrm{S} = 100\,\Omega$. Bei Abgriff in einer Entfernung x mit $0 \leq x \leq \ell$ vom linken Ende des Schiebewiderstandes besitzt der linke Teil des Schiebewiderstandes einen Widerstandswert von $\frac{x}{\ell} R_\mathrm{S}$.



Wie groß ist die über dem Widerstand R abfallende Spannung für $x = 30\,\mathrm{cm}$?

A etwa 3,9 V B etwa 4,4 V C etwa 6,1 V D etwa 7,5 V

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

Aufgabe 4 Iglutemperatur (MC-Aufgabe) (5.0 Pkt.)

In einem Iglu kann es auch bei sehr kalten Außentemperaturen relativ „warm“ sein. Grund dafür sind die Wände aus Schnee, die viel Luft enthalten und so eine gute Isolation bilden.



Abb. 1. *Bild eines Iglu (PhysikOlympiade, KI-generiert mit ChatGPT (OpenAI), 2026).*

Betrachte in dieser Aufgabe ein stark vereinfachtes Modell eines Iglus, bei dem dieser als halbkugelförmig mit einem Außendurchmesser von $D = 5{,}0\,\mathrm{m}$ und einer Wanddicke von $b = 50\,\mathrm{cm}$ betrachtet wird. Der Eingang wird dabei nicht mit berücksichtigt und es soll näherungsweise angenommen werden, dass die Innenfläche der Wände genau so groß ist wie die Außenfläche. Gehe außerdem davon aus, dass der Iglu Wärme nur über die Wände und nicht über den Boden abgibt. Für die Wärmeleitfähigkeit des Schnees kannst du den Wert $\lambda = 0{,}30\,\mathrm{W\,K^{-1}\,m^{-1}}$ verwenden und annehmen, dass der Übergang zwischen Schnee und Luft ohne nennenswerten Wärmewiderstand erfolgt.

Im Inneren des Iglus erzeugen die darin befindlichen Personen und andere Wärmequellen eine Wärmeleistung von 700 W.

Welche Innentemperatur ist im Iglu in einer arktischen Winternacht mit einer konstanten Außentemperatur von $-40\,^\circ\mathrm{C}$ nach diesem Modell zu erwarten?

A etwa $-10\,^\circ\mathrm{C}$ B etwa $-5\,^\circ\mathrm{C}$ C etwa $0\,^\circ\mathrm{C}$ D etwa $5\,^\circ\mathrm{C}$

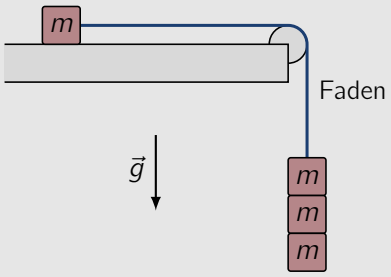
Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

Aufgabe 5 Fallende Klötze (MC-Aufgabe) (5.0 Pkt.)

Ein Metallklotz der Masse m liegt, wie rechts gezeigt, auf einem Tisch. Über einen Faden, der reibungsfrei an der Tischkante umgelenkt wird, ist er mit drei weiteren identischen Klötzen verbunden, die an dem Faden hängen. Du kannst die Masse des Fadens vernachlässigen und annehmen, dass sich der Faden nicht dehnt. Verwende für die Fallbeschleunigung auf der Erde den Wert $g = 9{,}81\,\mathrm{m\,s^{-2}}$.



Werden die hängenden Klötze losgelassen, beginnen sie nach unten zu fallen. Der Graph zeigt die Fallstrecke s in Abhängigkeit von der Zeit t nach dem Loslassen.

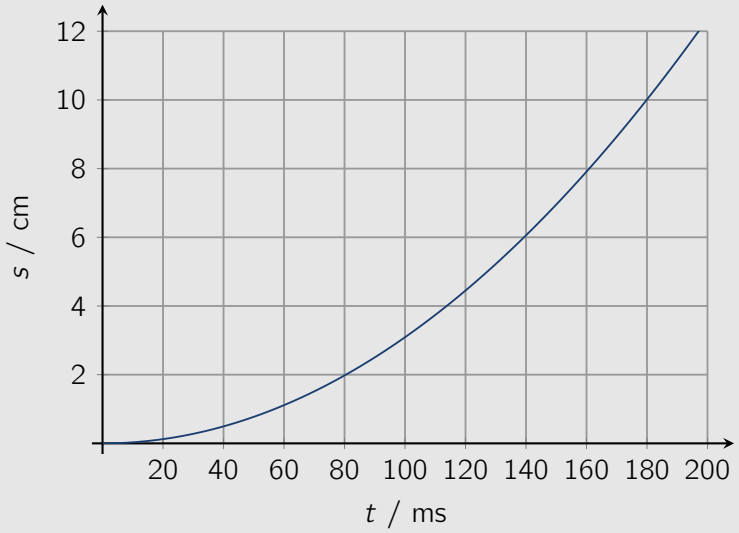
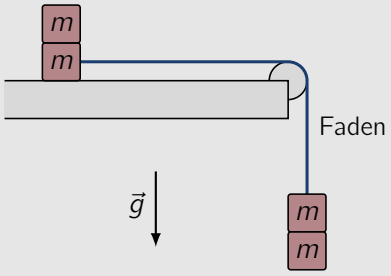


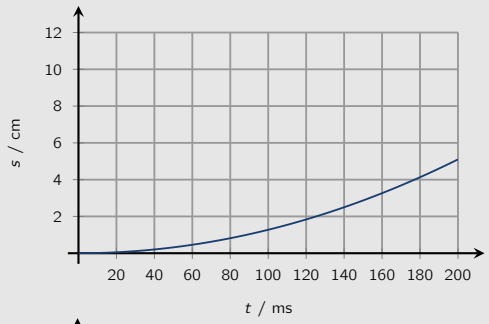
Abb. 2. *Fallstrecke s der Klötze in Abhängigkeit von der Fallzeit t.*

Nun wird einer der hängenden Klötze abgenommen und auf den Klotz auf den Tisch gestellt, wie nebenstehend gezeigt. Der Versuch wird mit dieser Anordnung der Klötze wiederholt.

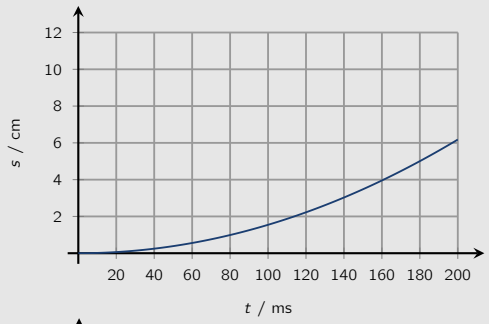


Welcher der folgenden Graphen stellt für diesen Fall die Fallstrecke als Funktion der Fallzeit korrekt dar?

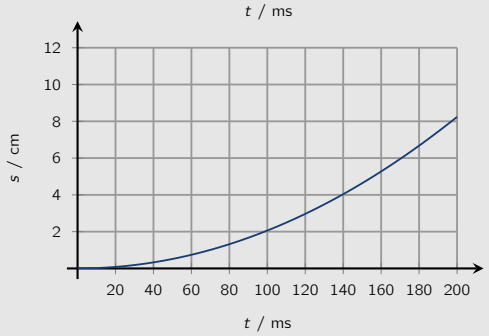
A



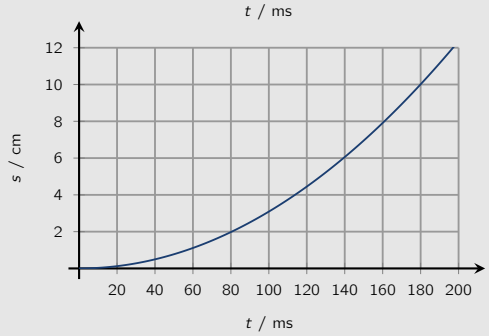
B



C



D



Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Korrekte Antwort:

Aufgabe 6 Pixeldichte (MC-Aufgabe) (5.0 Pkt.)

Die Pixelanordnung auf dem Display eines Smartphones kann als quadratisches, optisches Kreuzgitter verstanden werden. Ein Smartphone mit Bildschirmdiagonale 5,90 Zoll = 15,0 cm im Format 21:9, das um 45° gegen die Horizontale gekippt wurde, wird senkrecht von oben mit einem grünen Laser der Wellenlänge $\lambda = 532\,\text{nm}$ beleuchtet. Der reflektierte Strahl fällt senkrecht auf eine Wand. An der Wand sieht man neben dem intensiven Reflex der Laserstrahls auch ein regelmäßiges, rechteckiges Punktmuster, wie in der Abbildung gezeigt. Das Smartphone wirkt dabei als Reflexionsgitter. Der horizontale Abstand des Reflexionspunktes auf dem Display von der Wand beträgt $a = 88{,}5\,\text{cm}$.

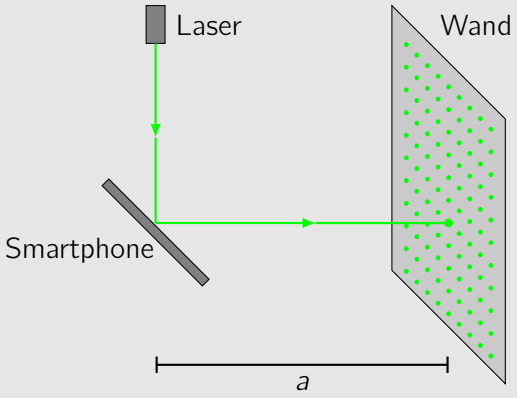


Abb. 3. *Skizze des Versuchs.*

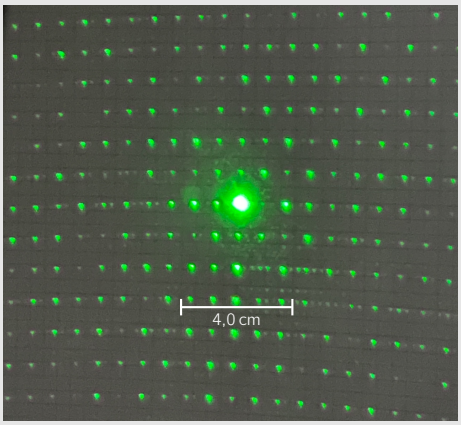


Abb. 4. *Foto des Punktmusters an der Wand mit Maßstab (Länge* 4,0 cm*).*

Wie groß ist die Gesamtanzahl N der Pixel auf dem Smartphonedisplay?

A etwa $1{,}1 \cdot 10^6$ B etwa $2{,}5 \cdot 10^6$ C etwa $5{,}2 \cdot 10^6$ D etwa $6{,}9 \cdot 10^6$

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Korrekte Antwort:

Aufgabe 7 Punktladungen (MC-Aufgabe) (5.0 Pkt.)

Die linke Abbildung unten zeigt das elektrische Feld einer positiven Punktladung Q an Positionen, die auf einem konzentrischen Kreis um die Ladung liegen.

Die rechte Abbildung zeigt das elektrische Feld an den gleichen Positionen für den Fall, dass zusätzlich eine zweite positive Punktladung an einer unbekannten Position in der Papierebene vorhanden ist. Die beiden Abbildungen besitzen den gleichen Maßstab und die Pfeillängen sind proportional zur elektrischen Feldstärke an den jeweiligen Punkten.

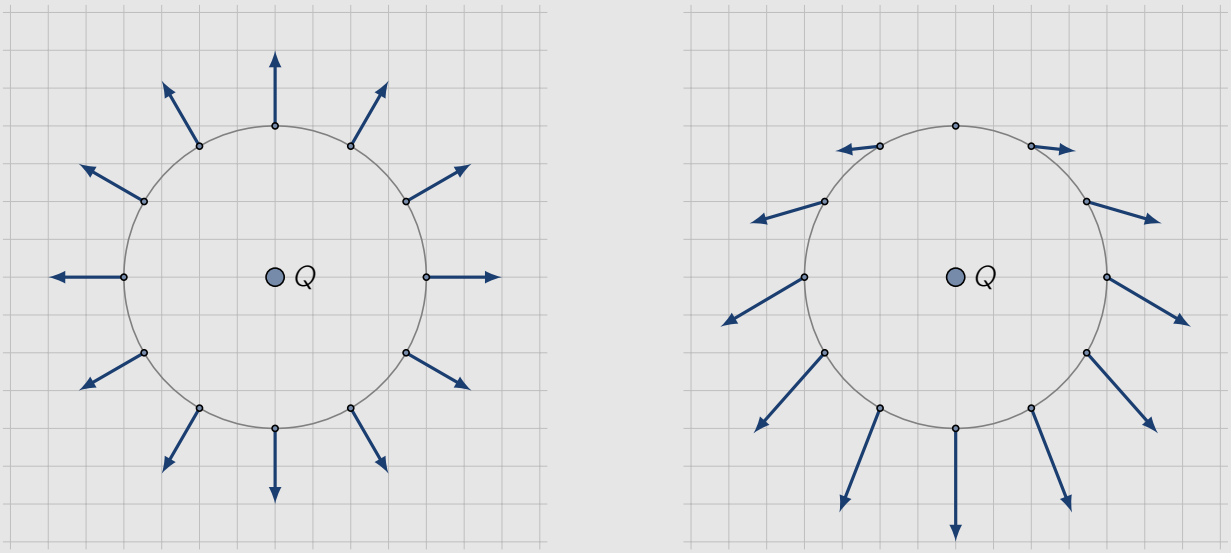


Abb. 5. *Skizze des elektrischen Feldes auf einem Kreis für eine positive Punktladung im Zentrum (links) und mit einer zusätzlichen positiven Ladung an unbekannter Position (rechts).*

Wie groß ist die Ladung der zweiten Punktladung?

A etwa Q B etwa $4\,Q$ C etwa $17\,Q$ D etwa $23\,Q$

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

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 Heiße Schienen im Wilden Westen (17.0 Pkt.)

Arizona, Ende des 19. Jahrhunderts - Eine trockene Wüstenregion soll durch eine neue Eisenbahnlinie erschlossen werden.

Schienenausdehnung

Am frühen Morgen werden dazu Eisenbahnschienen aus Stahl bei einer Temperatur von $T_0 = 15\,°\mathrm{C}$ verlegt. Jede Schiene besitzt eine Länge von $L_0 = 12{,}0\,\mathrm{m}$. Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schienen lassen die Arbeiter einen Dehnungsspalt der Breite $s = 4{,}0\,\mathrm{mm}$. Bis zum Nachmittag heizt die intensive Sonneneinstrahlung die Schienen auf $T_1 = 55\,°\mathrm{C}$ auf. Durch die Erhitzung dehnen sich die Schienen aus. Die auftretende relative Längenänderung ε lässt sich näherungsweise mit Hilfe des linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten α in Abhängigkeit von der Temperaturänderung ΔT bestimmen durch

$$\varepsilon = \alpha\,\Delta T\,.$$

Verwende für den linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten von Stahl den Wert $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{K}^{-1}$.

8.a) Bestimme die Temperatur T, bei der sich die Schiene gerade so weit ausgedehnt hat, dass der Dehnungsspalt vollständig geschlossen ist. *(2.0 Pkt.)*

Nachdem der Dehnungsspalt geschlossen ist, wird die weitere Ausdehnung zunächst verhindert und es entsteht eine mechanische Spannung in den Schienen. Für nicht zu große Spannungen verhält sich die Schiene dabei wie eine gestauchte Feder und die Spannung kann durch das Hookesche Gesetz mit einer Längenänderung in der folgenden Form

$$\sigma = E\,\varepsilon$$

verknüpft werden. Dabei bezeichnet σ die Spannung, also die auf die Schiene pro Querschnittsfläche wirkende Kraft, und E den Elastizitätsmodul von Stahl, für den der Wert $E = 210\,\mathrm{GPa}$ angenommen werden kann.

8.b) Berechne die Spannung σ, die in der Schiene durch das weitere Aufheizen der Schiene entsteht. *(2.0 Pkt.)*

Bei hinreichend hohen Temperaturen wird die Spannung so groß, dass die Schiene beginnt, sich zu verformen. Betrachte ein stark vereinfachtes Modell des Verhaltens zweier Schienen, wie nebenstehend skizziert. Nimm an, dass der Kontaktpunkt der Schienen nach dem Schließen des Spaltes sofort seitlich ausweicht, während die Schienen selbst gerade bleiben. Die beiden anderen Enden der Schienen können als ortsfest angenommen werden.

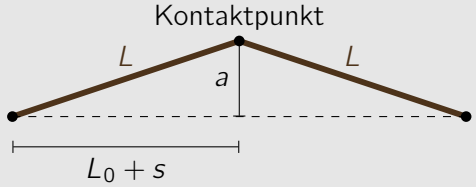


Abb. 6. *Stark vereinfachtes Modell der Schienenverformung.*

8.c) Bestimme die maximale seitliche Auslenkung a des Kontaktpunktes der beiden Schienen bei der gegebenen Temperaturänderung. *(2.0 Pkt.)*

Fata Morgana

An manchen Tagen beobachten die Arbeiter in der Mittagspause in einiger Entfernung Spiegelungen am Wüstenboden, die wie ein nasser Fleck aussehen, in dem sich Objekte spiegeln.

Dieses als Fata Morgana bekannte Phänomen kann auftreten, wenn die Luft am Boden heißer ist als die darüberliegende. Nimm an, dass die Luft aus isothermen Schichten aufgebaut ist, die immer parallel zum Boden verlaufen. Für den Brechungsindex n der Luft gilt, dass $n-1$ proportional zur Dichte der Luft ist.

8.d) Skizziere in der folgenden Abbildung den Weg zweier Lichtstrahlen vom Schornstein der Lokomotive zum Auge des Arbeiters: einmal den direkten Lichtweg, und einmal einen Lichtweg, der zur Fata Morgana gehört. *(2.0 Pkt.)*

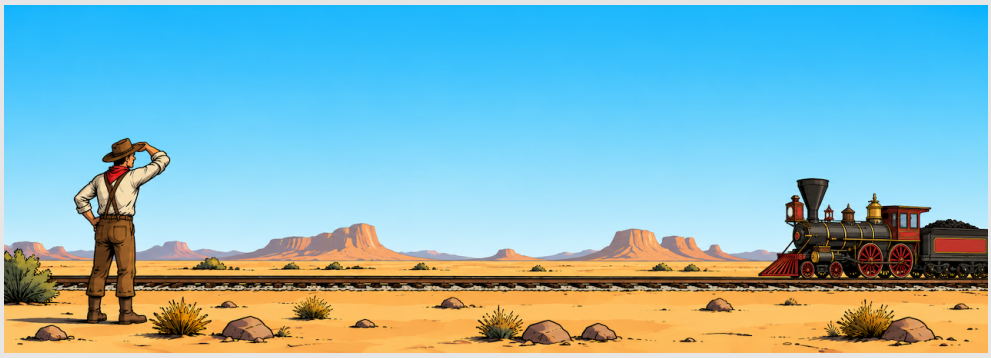


Abb. 7. *Skizze für Lichtwege (PhysikOlympiade, KI-generiert mit ChatGPT (OpenAI), 2026).*

Bei einem Luftdruck von $p = 1\,\mathrm{atm} \approx 1 \cdot 10^5\,\mathrm{N\,m^{-2}}$ und einer Temperatur von 20 °C betragen die Dichte von Luft $\rho(20\,^\circ\mathrm{C}) = 1{,}204\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$ und der Brechungsindex $n(20\,^\circ\mathrm{C}) = 1 + 2{,}92 \cdot 10^{-4}$.

8.e) Behandle Luft wie ein ideales Gas und bestimme die Dichte sowie den Brechungsindex von Luft für die Temperaturen 30 °C sowie 55 °C bei Atmosphärendruck. *(4.0 Pkt.)*

Nimm an, dass sich die Augen eines Arbeiters etwa 1,5 m über dem Boden befinden und dass die Lufttemperatur in dieser Höhe 30 °C beträgt. Die Bodentemperatur kann weiter zu 55 °C angenommen werden.

8.f) Bestimme die minimale horizontale Entfernung d vom Arbeiter, in der für ihn der nasse Fleck auf dem Boden erscheint. *(5.0 Pkt.)*

Antwortteil

8.a)

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die Temperatur T:

8.b)

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die Spannung σ:

8.c)

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die seitliche Auslenkung a:

8.d)

Skizze in der Abbildung der Aufgabenstellung anfertigen

8.e)

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die Dichten und Brechungsindizes:

8.f)

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die horizontale Entfernung d:

Aufgabe 9 Atmosphärische Myonen (18.0 Pkt.)

Myonen sind instabile Elementarteilchen mit einer mittleren Lebensdauer von etwa $\tau_0 = 2{,}20\,\mu s$. Nach der Zeit τ_0 sind im Mittel also noch 1/e der ursprünglichen Anzahl der Teilchen vorhanden. Myonen entstehen unter anderem, wenn hochenergetische Teilchen der kosmischen Strahlung mit der Erdatmosphäre wechselwirken.

Im Jahr 1963 untersuchten David H. Frisch und James H. Smith die Lebensdauer dieser atmosphärischen Myonen. Sie maßen mit derselben Apparatur zunächst auf dem Mount Washington und anschließend nahe Meereshöhe. Am oberen Messort konnten sie die mittlere Geschwindigkeit der Myonen zu $v = 0{,}9952\,c$ bestimmen. Nimm vereinfachend an, dass die Myonen zwischen den Messorten geradlinig nach unten fliegen und ihre Geschwindigkeit dabei konstant bleibt. Verwende zur Bearbeitung der Aufgaben außerdem die folgenden Werte:

Höhendifferenz der Messorte	$\Delta h = 1907\,\text{m}$
mittlere Zählrate auf dem Mount Washington	$n_1 = 563 \pm 10$ pro Stunde
mittlere Zählrate nahe Meereshöhe	$n_2 = 408 \pm 9$ pro Stunde

9.a) Bestimme die Halbwertszeit $T_{1/2}$ eines ruhenden Myons aus dem angegebenen Wert der mittleren Lebensdauer. *(2.0 Pkt.)*

9.b) Ignoriere zunächst relativistische Effekte. Bestimme die Flugzeit der Myonen zwischen den Messorten und berechne, welcher Anteil der am Mount Washington registrierten Myonen nach dieser Zeit noch nicht zerfallen sein sollte. Gib daraus die klassisch erwartete Zählrate nahe Meereshöhe an und vergleiche sie mit dem tatsächlichen Messwert. *(4.0 Pkt.)*

9.c) Bestimme nun aus den gemessenen mittleren Zählraten den Anteil der Myonen, der während des Fluges zwischen den beiden Messorten nicht zerfallen ist. Bestimme daraus die Flugzeit im bewegten Bezugsystem der Myonen. Vergleiche diese Zeit mit der Flugzeit im Erdsystem. *(3.0 Pkt.)*

9.d) Vergleiche dein Ergebnis für die Flugzeit im Myonensystem mit dem Ergebnis, das sich für die gemessene Myonengeschwindigkeit von $v = 0{,}9952\,c$ ergibt. Beurteile die Übereinstimmung der Ergebnisse und gib mindestens zwei Gründe für mögliche Abweichungen an. *(4.0 Pkt.)*

In einem Physikkurs wird über die Auswertung des Experimentes diskutiert.

> *Okay, aus Sicht der Erde lebt das Myon wegen der Zeitdilatation länger. Aber alles ist relativ und wenn ich das Ganze aus Sicht eines ruhenden Myons anschaue, verlängert sich seine Lebensdauer ja gar nicht. Dann müssten doch eigentlich fast alle Myonen zerfallen, bevor sie den Boden erreichen. Wie passt das denn zusammen?*

9.e) Hilf den verzweifelten Jungphysiker*innen und beschreibe den Vorgang aus Sicht des Ruhesystems eines Myons. Berechne ebenfalls den Myonenanteil der während des Fluges zwischen den beiden Messorten nicht zerfällt und zeige, dass beide Beschreibungen konsistent sind. *(5.0 Pkt.)*

Antwortteil

9.a)

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die Halbwertszeit $T_{1/2}$:

9.b)

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Ergebnis für Flugzeit, nicht zerfallenen Myonenanteil und klassisch erwartete Zählrate:

9.c)

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Ergebnis für nicht zerfallenen Myonenanteil, Flugzeit und Vergleich mit vorigem Ergebnis:

9.d)

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis theoretische Flugzeit und Vergleich mit vorigem Ergebnis:

9.e)

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für nicht zerfallenen Myonenanteil und Zeigen der Konsistenz der Betrachtungen:

Zusätzliches Arbeitspapier

Zusätzliches Arbeitspapier

Zusätzliches Arbeitspapier

Millimeterpapier

