

Vorbereitungsmaterial zur 2. Wettbewerbsrunde

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

zur Vorbereitung auf die Klausur der 2. Runde der diesjährigen PhysikOlympiade in Deutschland, dem Auswahlwettbewerb zur Internationalen PhysikOlympiade 2026, haben wir in diesen Vorbereitungsmaterialien für dich und deine betreuende Lehrkraft Informationen zu Format und Inhalten sowie einige Beispielaufgaben zusammengestellt. Die jeweils aktuellste Fassung des Vorbereitungsmaterials, der Beispielaufgaben und deren Lösungen findest du auf der IPhO-Webseite www.ipho.info bei den Materialien zur 2. Runde. Bitte schaue regelmäßig dort nach, auch um Dich über die genauen Termine und den Zugang zu dem Online-Vorbereitungstraining (s.u.) zu informieren.

Die Regeln und Hinweise zu der Klausur sowie die Liste von Naturkonstanten und gebräuchlichen Größen auf den beiden folgenden Seiten erhältst du direkt vor der Klausur noch einmal als Ausdruck zur Verwendung während der 2. Runde. Die Naturkonstanten musst du also nicht auswendig kennen. Mache dich aber auf jeden Fall mit den Regeln und Hinweisen vertraut. Bei der Klausur musst du unterschreiben, dass du diese befolgst. Besonders hinweisen möchten wir dich auf die Möglichkeit, ein DIN-A4-Blatt mit Formeln mit in die Klausur zu nehmen. Weitere Informationen dazu sind auf der nächsten Seite zu finden.

Die Beispielaufgaben in diesem Vorbereitungsmaterial greifen das Aufgabenformat der Klausuren und teilweise auch klausurrelevante Themen auf. Wir empfehlen dir sehr, dich zunächst ohne die Lösungen mit den Aufgaben zu befassen und dir die Lösungen erst zur Kontrolle bzw. wenn du nicht mehr weiter kommst anzusehen. Für weitere Aufgabenbeispiele kannst du dir auch gerne die Aufgaben der 1. und 2. Wettbewerbsrunden der letzten Jahre auf der IPhO-Webseite www.ipho.info im Bereich Aufgaben ansehen. Dort findest du auch eine Zusammenstellung aller Multiple-Choice Aufgaben der letzten Jahre mit Lösungen.

In diesem Jahr bieten wir außerdem erstmalig allen qualifizierten Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, an einem Online-Vorbereitungstraining mit verschiedenen fachlichen Themen teilzunehmen. Dieses Training findet im Zeitraum vom 27.10. bis zum 07.11. Montags bis Freitags jeweils von etwa 17:30 bis 19:00 Uhr statt. In den Sitzungen geben ehemalige Teilnehmer und Landesbeauftragte einen Überblick über einzelne physikalische Themen und besprechen einige Aufgaben. Die Teilnahme ist freiwillig und jede(r) darf sich gerne zu den Terminen einwählen die zeitlich und inhaltlich passen. Die Themen, Termine und Zugangsdaten sind auf der Infoseite zur 2. Runde zu finden. Bitte schaue immer kurz vor dem Termin noch einmal auf der Seite nach, ob sich Änderungen ergeben haben.

Es ist sehr gut möglich, dass dieses Dokument noch Fehler enthält. Für Hinweise und Verbesserungsvorschläge unter ipho@scienceolympiaden.de sind wir sehr dankbar. Wir werden die Fehler korrigieren und das Dokument aktualisieren.

Bei Fragen zu der Klausur oder der PhysikOlympiade allgemein, melde dich gerne bei deiner bzw. deinem zuständigen Landesbeauftragten oder direkt bei uns.

Wir wünschen dir viel Spaß bei der Vorbereitung und viel Erfolg für die 2. Runde.
Dein Team der PhysikOlympiade in Deutschland.

Regeln und Hinweise zur Klausur für Schülerinnen und Schüler

Die 2. Runde im Auswahlwettbewerb zur Internationalen PhysikOlympiade 2026 wird als Klausurrunde an den Schulen durchgeführt¹. Teilnahmeberechtigt sind alle Schülerinnen und Schüler, die die 1. Runde erfolgreich abgeschlossen oder sich über einen anderen Wettbewerb für die 2. Runde qualifiziert haben und nach dem 30. Juni 2006 geboren sind.

- Der **Termin für die Klausur** ist bundesweit einheitlich Dienstag, der **11. November 2025**. In dringenden Fällen kann deine Lehrkraft den Termin um ein bis zwei Tage verschieben.
- Die **Bearbeitungszeit** für die Klausur beträgt zweieinhalb Zeitstunden, also **150 Minuten**.
- Die Klausur ist **ohne fremde Hilfe und in Einzelarbeit** unter Aufsicht einer Lehrkraft zu bearbeiten.
- Zulässige **Hilfsmittel** sind Schreib- und Zeichenmaterialien, die auf der folgenden Seite abgedruckte Liste von Naturkonstanten sowie ein nicht graphikfähiger Taschenrechner. Zusätzlich darfst du ein DIN-A4-Blatt mit Formeln mit in die Klausur nehmen (ein- oder doppelseitig per Hand oder mit Drucker beschrieben). Darüber hinaus sind keine Aufzeichnungen oder Formelsammlungen erlaubt.
- Du erhältst die Klausuraufgaben in einem verschlossenen, mit deinem Namen versehenen **Umschlag**. Öffne diesen erst, wenn die betreuende Lehrkraft das Signal zum Start der Klausur gibt.
- Die in den einzelnen (Teil-)Aufgaben und der Klausur insgesamt **maximal erreichbaren Punktzahlen** sind jeweils angegeben.
- Du kannst dir die **Reihenfolge** für die Bearbeitung der Aufgaben frei aussuchen und dir auch die Zeit frei einteilen. Es kann vorteilhaft sein, sich zunächst mit Aufgaben zu befassen, die du gut lösen kannst, und sich nicht zu sehr in einer Aufgabe zu verbeißen.
- Im ersten Teil der Klausur sind **7 Multiple-Choice Aufgaben** zu lösen. Es stehen dabei jeweils vier Antwortalternativen zur Wahl, von denen genau eine richtig ist. Für jede korrekte Antwortwahl erhältst du 1 Punkt. Wenn keine, eine falsche oder mehr als eine Antwortoption angegeben ist, werden dafür Null Punkte vergeben. Zu deiner Antwortwahl wird außerdem eine physikalische Begründung erwartet. Einige Aufgaben erfordern dafür auch eine Rechnung. Für jede passende physikalische Begründung werden 4 Punkte vergeben. Für diesen Teil sind 60-90 Minuten eingeplant.
- Im zweiten Teil sind **2-3 längere theoretische Aufgaben** zu bearbeiten. Für diesen Teil sind ebenfalls 60-90 Minuten vorgesehen.
- Trage deine **Aufgabenbearbeitung in die entsprechenden Boxen** ein. Falls der Platz nicht ausreicht oder du einen weiteren Graphen zeichnen möchtest, findest du am Ende der Klausur **zusätzliches Arbeitspapier**. Kennzeichne unbedingt die Aufgabe, zu der die jeweiligen Aufzeichnungen gehören.
- Die Klausurblätter und das zusätzliche Arbeitspapier sind im oberen Teil mit deinem **Personencode** versehen. Verwende nur diese Blätter zur Bearbeitung der Klausur und lege alle Blätter am Ende wieder in deinen Umschlag.
- Die Aufgaben sind so konzipiert, dass es schwer sein dürfte, alle Aufgaben vollständig zu lösen. **Verliere also nicht den Mut, wenn du nicht alles schaffst oder mal keine Idee zur Lösung hast!**
- Da die Klausuren an einigen Schulen wenige Tage später geschrieben werden, darfst du **keine Informationen zu den Klausuraufgaben** vor dem 24. November an andere Teilnehmende weitergeben.

Das Team der PhysikOlympiade in Deutschland wünscht dir viel Erfolg!

¹Für Teilnehmende aus Hessen und Nordrhein-Westfalen gibt es die Möglichkeit, die Klausur bei einer zentralen Veranstaltung in Darmstadt bzw. Dortmund zu schreiben. Für diese erfolgt eine separate Einladung.

Naturkonstanten und gebräuchliche Größen

In den Aufgaben können die folgenden physikalischen Größen verwendet werden. Die Angaben können jeweils bis zur angegebenen Stelle als exakt angenommen werden.

Konstante	gebräuchliche Formelzeichen	Wert
Absoluter Nullpunkt	T_0	$0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$
Atomare Masseneinheit	u	$1,660\,539 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$
Avogadro-Konstante	N_A	$6,022\,141 \cdot 10^{23}\text{ mol}^{-1}$
Boltzmann-Konstante	k_B	$1,380\,649 \cdot 10^{-23}\text{ J K}^{-1}$
Elektrische Feldkonstante	ϵ_0	$8,854\,187\,817 \cdot 10^{-12}\text{ A s V}^{-1}\text{ m}^{-1}$
Elektronenvolt	eV	$1\text{ eV} = 1,602\,177 \cdot 10^{-19}\text{ J}$
Elementarladung	e	$1,602\,177 \cdot 10^{-19}\text{ A s}$
Fallbeschleunigung auf der Erde	g	$9,806\,65\text{ m s}^{-2}$
Gravitationskonstante	γ, G	$6,674 \cdot 10^{-11}\text{ m}^3\text{ kg}^{-1}\text{ s}^{-2}$
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	c_0	$2,997\,924\,58 \cdot 10^8\text{ m s}^{-1}$
Magnetische Feldkonstante	μ_0	$1,256\,637\,061 \cdot 10^{-6}\text{ V s A}^{-1}\text{ m}^{-1}$
Normdruck, Atmosphärendruck	p_n	$101\,325\text{ N m}^{-2}$
Plancksches Wirkungsquantum	h	$6,626\,070 \cdot 10^{-34}\text{ J s}$
Ruhemasse des Elektrons	m_e	$9,109\,384 \cdot 10^{-31}\text{ kg}$
Ruhemasse des Neutrons	m_n	$1,674\,927 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$
Ruhemasse des Protons	m_p	$1,672\,622 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$
Rydberg-Konstante	R_∞	$1,097\,373\,157 \cdot 10^7\text{ m}^{-1}$
Schallgeschwindigkeit in Luft	c_{Luft}	343 m s^{-1} (bei 20 °C und Normdruck)
Stefan-Boltzmann-Konstante	α, σ	$5,6704 \cdot 10^{-8}\text{ W m}^{-2}\text{ K}^{-4}$
Universelle Gaskonstante	R	$8,314\,46\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$

Hinweise zum Klausurformat

Die Aufgaben der Klausur bestehen aus dem Aufgabentext mit einer Erklärung der Aufgabe und der Fragestellung sowie einer Box für deine Bearbeitung und Antwort. Eventuell soll bei einigen Aufgaben ein Graph erstellt werden. Dafür ist dann in der Box entsprechend Millimeterpapier abgedruckt.

Du musst die Aufgaben nicht in der gegebenen Reihenfolge bearbeiten, sondern kannst dir die Reihenfolge und die zeitliche Aufteilung innerhalb der Klausurzeit frei einteilen. Es lohnt sich in vielen Fällen auch Aufgaben anzugehen, die man nicht ganz lösen kann, denn auch für nicht vollständige oder in Teilen falsche Lösungen können Teilpunkte vergeben werden.

Denke daran, deine Ergebnisse immer noch einmal zu überprüfen. Dazu solltest du dich fragen: Ist das Ergebnis plausibel, macht es physikalisch Sinn und passt es zu deinem Verständnis der ablaufenden Prozesse, besitzt ein ermittelter Wert die richtige Einheit für die bestimmte Größe, ...?

Multiple-Choice Aufgaben

Bei den Multiple-Choice Aufgaben bekommst du zu jeder Frage vier Antwortmöglichkeiten, von denen jeweils genau eine richtig ist. Eine Multiple-Choice Aufgabe könnte folgendermaßen aussehen:

Rutschen! (MC-Aufgabe)

Zwei Kästen rutschen reibungsfrei aus gleicher Höhe jeweils eine schiefe Ebene hinab. Die beiden schiefen Ebenen besitzen unterschiedliche Steigungen, beide Kästen legen aber insgesamt den gleichen Höhenunterschied zurück. Der eine Kasten ist doppelt so schwer wie der andere.

Welche der folgenden Aussagen trifft zu?

- A Beide Kästen haben anfänglich die gleiche potentielle Energie.
- B Die Kästen benötigen die gleiche Zeit für das Rutschen auf den schiefen Ebenen.
- C Am Ende der schiefen Ebenen besitzen beide Kästen die gleiche kinetische Energie.
- D Am Ende der schiefen Ebenen sind beide Kästen gleich schnell.

(Aufgabe aus der 1. Runde zur 48. IPhO 2017)

Bei der Lösung wird von dir neben einer Angabe der gewählten Antwortalternative auch eine physikalische Begründung erwartet, warum diese richtig ist. Eine mögliche Lösung zu der Beispielaufgabe ist die folgende:

Rechnungen und Erläuterungen

Die beim Rutschen insgesamt verlorene potentielle Energie der Kästen ist proportional zur Masse m und zur Höhendifferenz Δh zwischen Start- und Endhöhe. Während des als reibungsfrei anzunehmenden Rutschens wird diese potentielle Energie in kinetische Energie umgewandelt. Bezeichne mit v die Geschwindigkeit eines Kastens am Ende der schiefen Ebenen. Dann gilt der Energieerhaltungssatz

$$mg\Delta h = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{und damit} \quad v = \sqrt{2g\Delta h}.$$

Die Geschwindigkeit eines Kastens am Ende der schiefen Ebene ist also nur von der konstanten Schwerebeschleunigung g auf der Erde und der Höhendifferenz abhängig. Somit ist sie für beide Kästen betragsmäßig gleich.

Korrekte Antwort: **D**

Für die Angabe des richtigen Antwortbuchstabens erhältst du bereits 1 Punkt. Wenn keine, eine falsche oder mehr als eine Antwortoption angegeben ist, werden dafür Null Punkte vergeben. Maximal 4 Punkte werden für eine physikalisch korrekte Begründung vergeben.

Beachte, dass bei den Multiple-Choice Aufgaben auch eine Rechnung erforderlich sein kann. Außerdem müssen die Multiple-Choice Aufgaben nicht notwendigerweise leichter sein als die längeren theoretischen Aufgaben.

Längere theoretische Aufgaben

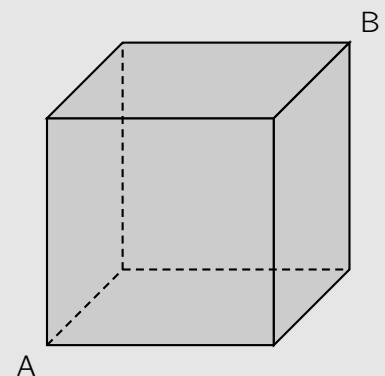
Die längeren theoretischen Aufgaben entsprechen vermutlich eher dem Format, das du aus der Schule kennst. Zu jeder Aufgabe kann es mehrere Unteraufgaben geben. Eine (eher kurze) Aufgabe in diesem Format kann beispielsweise folgendermaßen aussehen:

Widerstandswürfel

Der nebenstehend abgebildete Drahtwürfel ist aus zwölf gleich langen Drähten mit einem Widerstand von je $1,0\,\Omega$ zusammengesetzt.

Berechne den Widerstand zwischen den Ecken A und B.

Hinweis: Du kannst dir dabei die Symmetrien der Anordnung zunutze machen.



(angelehnt an eine Aufgabe der 3. Runde zur 48. IPhO 2017)

Deine Lösung sollte den blau gedruckten Arbeitsauftrag erfüllen. Typischerweise sollst du dabei etwas zeigen, erläutern, begründen, berechnen, bestimmen, abschätzen oder einen passenden Graphen zeichnen. Die Lösung sollte nachvollziehbar aber nicht unnötig lang sein. Erläutere also knapp deine Ideen, Ansätze und die von dir verwendeten physikalischen Prinzipien. Oftmals ist dafür eine Skizze hilfreich. Achte insbesondere darauf, alle neuen Symbole und Bezeichnungen einzuführen. Wenn du zum Beispiel neue Variablennamen verwendest, muss klar sein, auf was sie sich beziehen.

Eine mögliche Lösung zu der obigen Aufgabe sieht folgendermaßen aus.

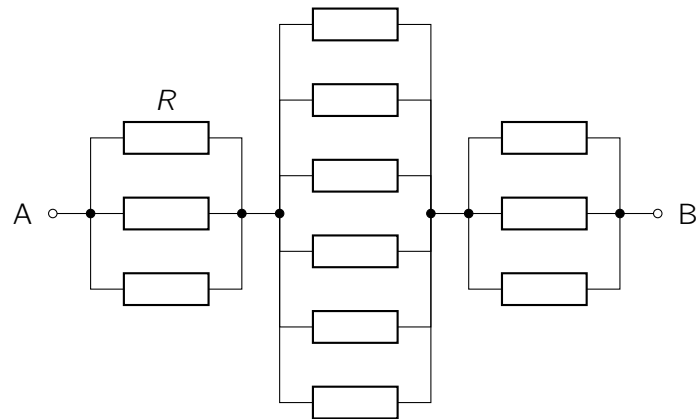
Rechnungen und Erläuterungen

Bezeichne mit $R = 1,0\,\Omega$ den Widerstand eines Drahtes.

Bei der Berechnung des gesuchten Widerstandes lässt sich die Symmetrie der Anordnung ausnutzen. Wenn der Würfel um die Verbindungslinie zwischen A und B um 120° gedreht wird, wird er in sich selbst überführt. Das gleiche muss daher für die fließenden Ströme und die Potentiale in dem Würfel gelten.

Vom Punkt A ausgehend, kann der Strom in drei Drähte abfließen. Deren Enden müssen aufgrund der Symmetrie des Würfels auf dem gleichen Potential liegen, so dass sie leitend verbunden werden können, ohne dass der Stromfluss sich dabei ändern würde.

Dasselbe gilt auch für die Enden der anschließenden Drähte. Daher kann der Widerstand R_{AB} zwischen den Punkten A und B durch das nebenstehende Ersatzschaltbild dargestellt werden.



Mit den Regeln für Parallel- und Reihenschaltungen ergibt sich daraus als Ergebnis

$$R_{AB} = \frac{R}{3} + \frac{R}{6} + \frac{R}{3} = \frac{5}{6} R = \frac{5}{6} \cdot 1,0 \Omega \approx 0,83 \Omega.$$

Hinweise zu den Klausurthemen

Die in der Klausur behandelten Themen sind quer durch die Physik verteilt. Den fachlichen Rahmen spannt dabei der Stoffkatalog der Internationalen PhysikOlympiade auf. Eine deutsche Übersetzung davon findest du auf der IPhO-Webseite www.ipho.info im Bereich Der Wettbewerb/Anforderungen². Der Stoffkatalog geht in Teilen über den schulischen Lehrstoff bis zum Abitur hinaus. Zum Lösen der Klausuraufgaben ist es aber nicht erforderlich, alle Teile des Stoffkataloges vollständig zu beherrschen. Allgemein geht es in der PhysikOlympiade nämlich nicht primär darum, Wissen zu reproduzieren, sondern vielmehr darum, dieses in verschiedenen Kontexten kreativ anwenden zu können.

Nachfolgend ist skizziert, auf welche Themen und Begriffe du dich für die Klausur der 2. Runde besonders vorbereiten solltest. Das mag nach ziemlich viel aussehen, aber erstens wirst du vieles davon schon kennen und zweitens musst du nicht alle Themen und Begriffe in besonders großer Tiefe beherrschen, um die Klausuraufgaben beantworten zu können. Es ist aber in jedem Fall sinnvoll, wenn du dir alle Themen, mit denen du nicht vertraut bist, in einem Schul- bzw. Fachbuch oder im Internet³ anschaust und dann versuchst, die Aufgabenbeispiele im letzten Teil und Aufgaben aus den letzten Jahren zu lösen. Dann erkennst du vermutlich ganz gut, ob du die Inhalte verstehst und mit dem Aufgabenformat vertraut bist.

Für die Klausur besonders relevante Bereiche des IPhO-Stoffkataloges

1.4 Einheiten Jede physikalische Größe besteht aus einem Zahlenwert und einer Einheit. Mit dieser Tatsache kann man manchmal sehr schnell herausfinden, ob eine Formel falsch ist. Passen die Einheiten einer (Un-)Gleichung auf beiden Seiten nicht zusammen, dann kann sie nicht richtig sein, da man dann die sprichwörtlichen Äpfel mit Birnen vergleicht. Andersherum kann dir aber auch die Kenntnis der Einheit einer gesuchten Größe helfen, eine passende Formel zur Berechnung zu finden. Wenn man sich z. B. überzeugt hat, dass für die Schwingungsdauer eines mathematischen Pendels nur die Pendellänge und die Schwerkraftbeschleunigung relevant sein können, dann kann man alleine aus den Einheiten der Größen eine Formel für die Schwingungsdauer ableiten, die bis auf einen möglichen Zahlenfaktor korrekt ist. Probier es gerne mal aus.

Das international akzeptierte System für physikalische Einheiten ist das Internationale Einheitensystem oder SI mit den sieben Basiseinheiten Meter (m) für die Länge, Kilogramm (kg) für die Masse, Sekunde (s) für die Zeit, Ampere (A) für die Stromstärke, Kelvin (K) für die (thermodynamische) Temperatur, Mol (mol) für die Stoffmenge und Candela (cd) für die Lichtstärke. Alle anderen physikalischen Größen sind abgeleitete Größen, deren Einheiten sich als Produkt von Potenzen dieser Basiseinheiten darstellen lassen. Neben diesen Basiseinheiten solltest du die gängigsten (von Nano bis Giga) Multiplikatoren oder SI-Präfixe für Einheiten kennen, also zum Beispiel wissen, dass $1\ \mu\text{s}$ für eine millionstel Sekunde steht oder 1 km für tausend Meter.

2.1 Allgemeines Du solltest die einfachsten gängigen Annahmen beim Lösen physikalischer Probleme kennen und erkennen können, ob diese bei einem gegebenen Problem zutreffend sind. Dazu gehören das Modell einer Punktmasse, die Annahme von Reibungsfreiheit bei Fall- oder Rutschvorgängen, die Annahme von dünnen Linsen bei Abbildungen oder die Annahme idealer Bauteile in elektrischen Schaltungen.

Außerdem solltest du in der Lage sein, einfache Symmetrien in Problemen wie dem elektrischen Schaltkreis der Beispielaufgabe oben zu erkennen und zu nutzen.

²Die URL ist www.scienceolympiaden.de/ipho/internationale-physik-olympiade-wettbewerb/anforderungen

³Für viele der Konzepte findest du zum Beispiel auf www.leifiphysik.de Erklärungen und Aufgaben zum Testen deines Wissens. Oftmals bietet auch die deutschsprachige Wikipedia hilfreiche Erklärungen.

Für die Abschnitte des IPhO-Stoffkatalogs 2.2-2.7 sind im Folgenden die Begriffe und Konzepte aufgeführt, mit denen du für die Klausur auf jeden Fall vertraut sein solltest.

2.2 Mechanik

2.2.1 Kinematik Geschwindigkeit und Beschleunigung einer Punktmasse als Ableitungen des Ortsvektors; Lineargeschwindigkeit, Zentripetal- und Tangentialbeschleunigung; Bewegung einer Punktmasse mit konstanter Beschleunigung; Addition von Geschwindigkeiten und Winkelgeschwindigkeiten.

2.2.2 Statik Gleichgewichtsbedingungen: Kräftegleichgewicht (vektoriell oder in Form von Projektionen); stabile und instabile Gleichgewichte; Spannkraft, Hookesches Gesetz; Druck;

2.2.3 Dynamik 2. Newtonsches Gesetz (in Vektorform und in Komponenten); kinetische Energie für Translations- und Rotationsbewegungen; Potentielle Energie für einfache Kraftfelder; Impuls; Energie und deren Erhaltungssätze; Mechanische Arbeit und Leistung; Entwertung aufgrund von Reibung. Inertialsysteme als Bezugssysteme,

2.2.4 Himmelsmechanik Gravitationsgesetz; Gravitationspotential.

2.2.5 Hydrodynamik Druck, Auftrieb, Kontinuitätsgleichung, Bernoulli-Gleichung.

2.3 Elektromagnetische Felder

2.3.1 Basiskonzepte Konzepte der Ladung und des Stromes; Ladungserhaltung und Kirchhoffs Stromgesetz (Knotenregel); Kirchhoffs Spannungsgesetz (Maschenregel); Magnetisches B -Feld; Lorentzkraft; Nutzung des Gesetzes von Biot und Savart zur Bestimmung des B -Feldes auf der Achse eines kreisförmigen stromdurchflossenen Leiters und für einfache symmetrische Systeme wie gerader Draht, kreisförmige Schleife und lange Spule.

2.3.2 Integrale Form der Maxwell-Gleichungen Induktionsgesetz; Konzept der geerdeten Leiter; Superpositionsprinzip für elektrische und magnetische Felder.

2.3.3 Wechselwirkung von Materie mit elektrischen und magnetischen Feldern Lenzsche Regel; Ladungen in Magnetfeldern: schraubenförmige Bewegung, Zyklotronfrequenz.

2.3.4 Stromkreise Linearer Widerstand und ohmsches Gesetz; Nichtlineare Elemente mit gegebenen U-I-Kennlinien. Kondensator und Kapazität;

2.4 Schwingungen und Wellen

2.4.1 Einfaches Pendel Harmonische Schwingungen: Bewegungsgleichung, Frequenz, Kreisfrequenz und Periodendauer;

2.4.2 Wellen Ausbreitung harmonischer Wellen: Wellenlänge, Wellenvektor; Snelliussches Brechungsgesetz.

2.4.3 Interferenz und Beugung Überlagerung von Wellen.

2.4.4 Wechselwirkung elektromagnetischer Wellen mit Materie Brechungsindex.

2.4.5 Geometrische Optik und Photometrie Näherungen der geometrischen Optik: Strahlen und optische Bilder;

2.5 Relativitätstheorie

Prinzip der Relativität und Lorentz-Transformation für Zeit- und Raumkoordinaten Addition von parallelen Geschwindigkeiten; Zeitdilatation; Längenkontraktion; Relativität der Gleichzeitigkeit; Energie und Impuls von Photonen.

2.7 Thermodynamik und statistische Physik

2.7.1 Klassische Thermodynamik Erstes und zweites Gesetz der Thermodynamik. Kinetische Theorie idealer Gase: Avogadro-Konstante, Boltzmann-Faktor und Gaskonstante; Translationsbewegung von Molekülen und Druck; Gesetz des idealen Gases; Isotherme, isobare, isochore und adiabatische Prozesse. normaler und rückläufiger Carnot-Prozess für ideale Gase und dessen Wirkungsgrad.

3.6 Datenanalyse Transformation einer Abhängigkeit in eine lineare Form durch passende Wahl von Variablen. Fitten einer Ausgleichsgerade und Bestimmung der linearen Regressionsparameter (Steigung, Achsenabschnitt und Fehlerabschätzung) entweder grafisch oder durch Nutzung statistischer Funktionen eines Taschenrechners (beide Methoden sind akzeptabel).

Wahl angemessener Skalen für Graphen und Eintragen von Messpunkten mit Fehlerbalken.

4.1 Algebra Vereinfachung von Formeln durch Faktorisieren und Ausmultiplizieren; Lösung linearer Gleichungssysteme; Lösen von Gleichungen und Gleichungssystemen, die zu quadratischen und biquadratischen Gleichungen führen; Identifikation physikalisch sinnvoller Lösungen.

4.2 Funktionen Wesentliche Eigenschaften von trigonometrischen, invers-trigonometrischen, exponentiellen und logarithmischen Funktionen und Polynomen. Dies beinhaltet Formeln von trigonometrischen Funktionen mit Summen von Winkeln. Lösen einfacher Gleichungen, die trigonometrische, logarithmische und exponentielle Funktionen enthalten.

4.3 Geometrie und Stereometrie Grad und Radiant als alternative Maße für Winkel; Gleichheit von Wechselwinkeln; Gleichheit korrespondierender Winkel; Erkennen ähnlicher Dreiecke. Flächen von Dreiecken und Kreisen Oberfläche von Kugeln und Zylindern; Volumen von Kugeln und Zylindern; Sinus- und Kosinussatz.

4.4 Vektoren Grundeigenschaften von Vektorsummen, Skalar- und Kreuzprodukt.

4.7 Analysis Qualitatives Verständnis der Ableitung elementarer Funktionen. Verstehen der Integration als inverse Operation zur Differentiation. Geometrische Interpretation von Ableitungen und Integralen.

Aufgaben zum Üben

Im Folgenden haben wir Aufgaben zusammengestellt⁴, die auch einige der obigen Themen aufgreifen und als Vorbereitung auf die Klausuren dienen können. Viele der Aufgaben stammen aus den Auswahlrunden der letzten Jahre. Sie sind also sehr nah an typischen Fragestellungen der PhysikOlympiade in Deutschland. Der Umfang der Beispielaufgaben ist aufgrund der vielen längeren Aufgaben größer als in der Klausur der kommenden 2. Runde. Darüber hinaus sind einige der Aufgaben auch schwerer als die Klausuraufgaben. Du musst also nicht frustriert sein, wenn du nicht auf Anhieb auf eine Lösung kommst.

Lösungen zu den Beispielaufgaben findest du auf der IPhO-Webseite www.ipho.info bei den Materialien zur 2. Runde. Wir empfehlen dir aber sehr, dich zunächst ohne die Lösungen mit den Aufgaben zu befassen und dir die Lösungen erst zur Kontrolle bzw. wenn du nicht mehr weiter kommst anzusehen.

Darüber hinaus empfehlen wir dir sehr, falls du das nicht schon getan hast, die Aufgaben der Klausuren der 2. Runde der letzten Jahre durcharbeiten. Du findest sie ebenfalls auf der IPhO-Webseite www.ipho.info im Bereich Aufgaben. Dort gibt es darüber hinaus auch eine Zusammenstellung aller Multiple-Choice Aufgaben der letzten Jahre mit Lösungen.

⁴Die Zusammenstellung ist die gleiche wie im Vorjahr. Wenn Du sie da bereits durchgearbeitet hast, nutze gerne schwerpunktmäßig die Klausuren der letzten 2. Runden zum Üben.

Aufgabe 1 Fall auf Exoplanet (MC-Aufgabe)

(2. Rd. zur IPhO 2022, Aufgabengruppe der PhysikOlympiade - Thomas Hellerl)

Auf der Oberfläche eines extrasolaren Planeten - kurz: Exoplaneten - ist die Fallzeit eines Körpers aus einer kleinen Höhe h unter Vernachlässigung aller Reibungseffekte genau doppelt so groß, wie auf der Erde.

Welche der folgenden Aussagen ist damit vereinbar, wenn man von einem kugelsymmetrischen Aufbau des Exoplaneten ausgeht?

Der Exoplanet hat ...

- A ... die halbe Erdmasse und den doppelten Erdradius.
- B ... genau die Erdmasse und vierfachen Erdradius.
- C ... die doppelte Erdmasse und den doppelten Erdradius.
- D ... die vierfache Erdmasse und den vierfachen Erdradius.

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

Aufgabe 2 Pendel im Fahrstuhl (MC-Aufgabe)

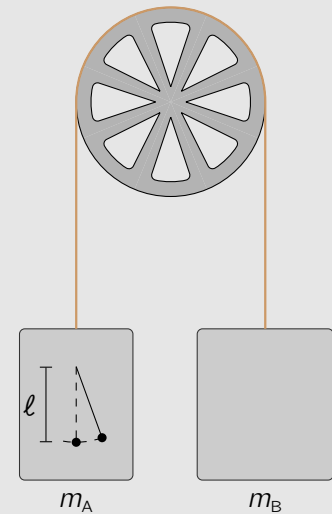
(2. Rd. zur IPhO 2022)

Zwei Fahrstuhlkabinen der Massen m_A und m_B mit $m_A < m_B$ hängen an den Enden eines langen Seiles, das über eine feste Rolle geführt ist. Die Masse der Rolle und des Seils können vernachlässigt werden. In der linken Kabine hängt ein Fadenpendel der Länge ℓ . Bei ruhenden Kabinen und kleinen Auslenkungen beträgt die Periodendauer des Pendels T .

Wenn die Kabinen losgelassen werden, bewegen diese sich reibungsfrei unter dem Einfluss der Schwerkraft.

Wie muss die Länge ℓ' des Fadenpendels in der linken Kabine gewählt werden, damit es nach dem Loslassen der Kabine mit der Periode T schwingt?

- A $\ell' = \frac{m_A}{m_B} \ell$ B $\ell' = \frac{2m_A}{m_A + m_B} \ell$ C $\ell' = \frac{2m_B}{m_A + m_B} \ell$ D $\ell' = \frac{m_B}{m_A} \ell$



Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

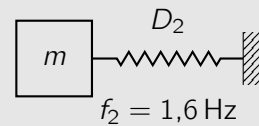
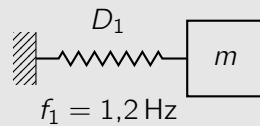
Korrekte Antwort:

Aufgabe 3 Doppeltes Federpendel (MC-Aufgabe)

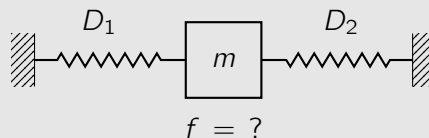
(5 Pkt.)

(2. Runde zur IPhO 2023, Idee: Aufgabengruppe der PhysikOlympiade - Thomas Hellerl)

In den beiden in der Abbildung gezeigten Federpendeln schwingt jeweils ein Körper der Masse m reibungsfrei. Die Federkonstanten D_1 und D_2 der beiden hookeschen Federn sind dabei jedoch unterschiedlich. Daher schwingen die Körper nach einer Auslenkung mit unterschiedlichen Frequenzen f_1 und f_2 .



Wie groß ist die Schwingungsfrequenz (Eigenfrequenz) des unten gezeigten Systems, in dem die Federn gekoppelt sind?



A 1,4 Hz

B 2,0 Hz

C 2,4 Hz

D 2,8 Hz

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Korrekte Antwort:

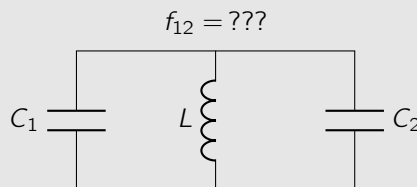
Aufgabe 4 Schwingkreise (MC-Aufgabe)

(2. Rd. zur IPhO 2024, Aufgabengruppe der PhysikOlympiade - Thomas Hellerl & Rolf Faßbender)

Eine Schaltung aus einer idealen Spule und einem idealen Kondensator heißt Schwingkreis. Die beiden, oben abgebildeten elektrischen Schwingkreise mit gleicher Induktivität L aber unterschiedlichen Kapazitäten C_i schwingen völlig widerstandslos mit den angegebenen Frequenzen.



Wie groß ist die Schwingungsfrequenz f_{12} (Eigenfrequenz) des folgenden, gekoppelten Systems?



A $\frac{2}{3}f$

B $\frac{3}{4}f$

C $\frac{4}{5}f$

D $\frac{5}{4}f$

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

Aufgabe 5 Coulombkraft (MC-Aufgabe)*(1. Rd. zur IPhO 2017)*

Zwei gleich große, geladene Metallkugeln befinden sich in einem sehr großen Abstand voneinander. Die Ladung der einen Kugel ist drei mal so groß wie die der anderen. Die Kraft, die die Kugeln aufeinander ausüben, ist F . Nun werden die Kugeln miteinander in Kontakt gebracht und anschließend in einem Abstand positioniert, der doppelt so groß wie anfänglich ist.

Wie groß ist jetzt etwa die Kraft zwischen ihnen?

A $0,25 F$ B $0,33 F$ C $0,50 F$

D Die Kraft bleibt gleich.

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

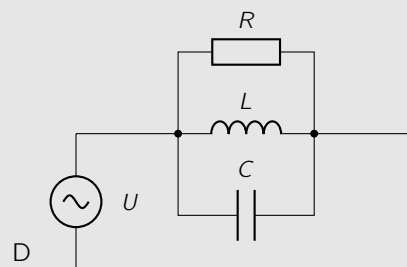
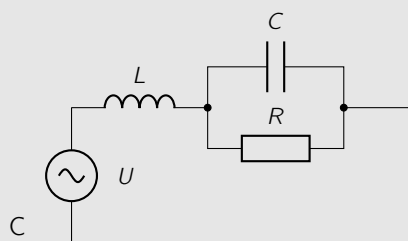
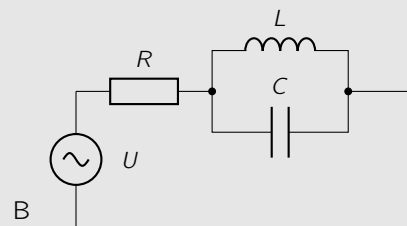
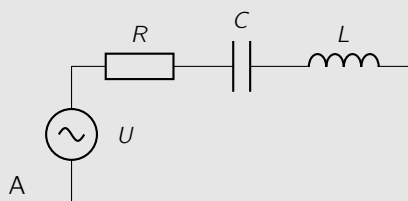
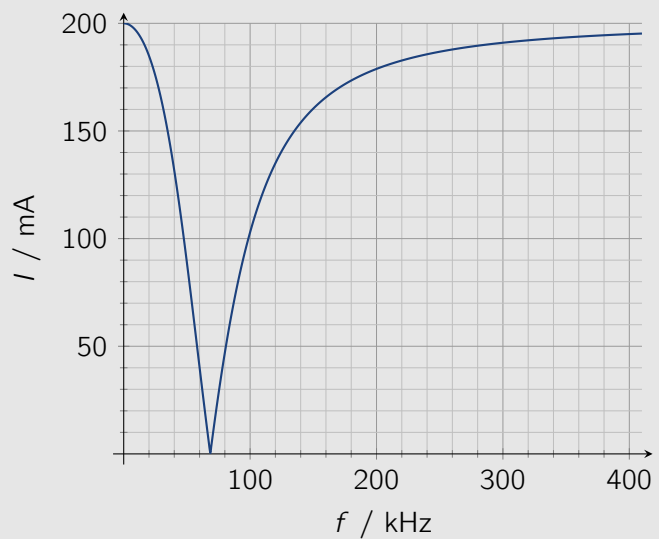
Aufgabe 6 Wechselstromschaltkreis (MC-Aufgabe)

(2. Rd. zur IPhO 2019, Aufgabengruppe der PhysikOlympiade - Stefan Petersen)

Ein Widerstand mit Widerstandswert R , ein Kondensator der Kapazität C und eine Spule der Induktivität L werden an eine Wechselspannungsquelle angeschlossen. Die Amplitude der Wechselspannung beträgt U und die Bauteile können als ideal angenommen werden.

Der folgende Graph zeigt die Amplitude I der Stromstärke in dem Stromkreis als Funktion der Frequenz f der sinusförmigen Wechselspannung.

Welche der folgenden Schaltskizzen stellt die verwendete Schaltung korrekt dar?



Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Korrekte Antwort:

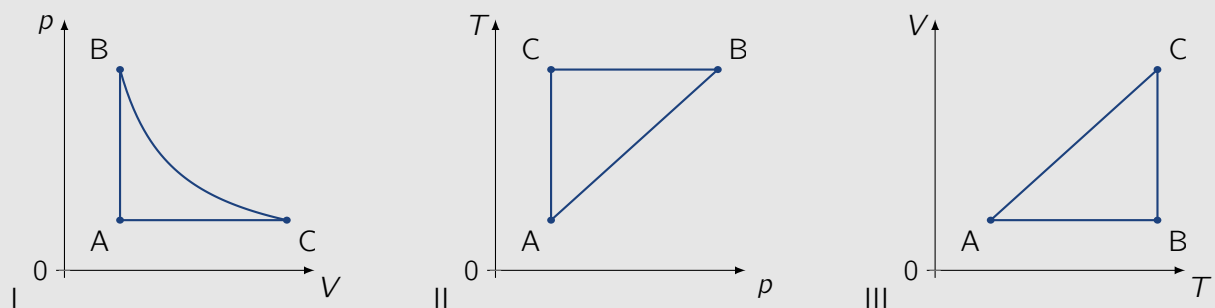
Aufgabe 7 Kreisprozess (MC-Aufgabe)

(2. Runde zur IPhO 2019)

Ein ideales Gas durchläuft einen Kreisprozess. Ausgehend von dem Zustand A wird es zunächst bei konstantem Volumen bis zu einem Zustand B erwärmt, anschließend expandiert es ohne Temperaturänderung bis zu einem Zustand C und wird schließlich isobar wieder zum Ausgangszustand A komprimiert.

Bezeichne mit p , V und T den Druck, das Volumen und die Temperatur des Gases.

Welche der nachfolgenden Graphen stellen den Kreisprozess korrekt dar?



- A Nur die Graphen I und II.
- B Nur die Graphen I und III.
- C Nur die Graphen II und III.
- D Alle drei Graphen.

Antwortteil

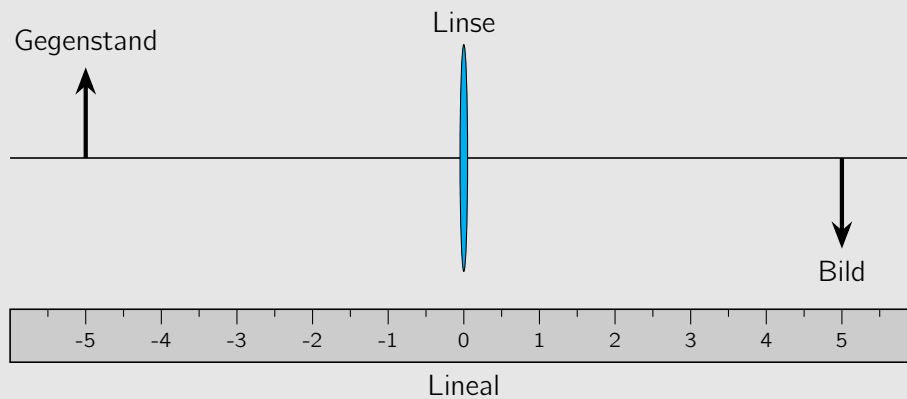
Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

Aufgabe 8 Vershobenes Bild

(1. Runde zur IPhO 2017)

Eine dünne Linse erzeugt, wie in der Abbildung gezeigt, ein Bild eines Gegenstandes.



Bestimme die Brennweite der Linse. Verwende dazu das eingezeichnete Lineal als Maßstab. Zeichne außerdem das entstehende Bild ein, wenn eine zweite, identische Linse direkt hinter die erste gestellt wird.

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die Brennweite der Linse:

Aufgabe 9 Irgendwie verschoben

(1. Rd. zur IPhO 2023, Aufgabengruppe der PhysikOlympiade)

Eine dünne Sammellinse bildet einen 140,0 cm entfernten Gegenstand scharf auf einem Schirm ab, der in einer Entfernung von 16,8 cm hinter der Linse positioniert ist.

9.a) Bestimme die Brennweite der Linse.

Zwischen Linse und Schirm wird nun, wie in der Abbildung skizziert, eine 3,0 cm dicke, planparallele Glasplatte mit Brechungsindex $n = 1,50$ gebracht. Um wieder ein scharfes Bild auf dem Schirm zu erzeugen, wird dieser um eine Strecke Δb verschoben.

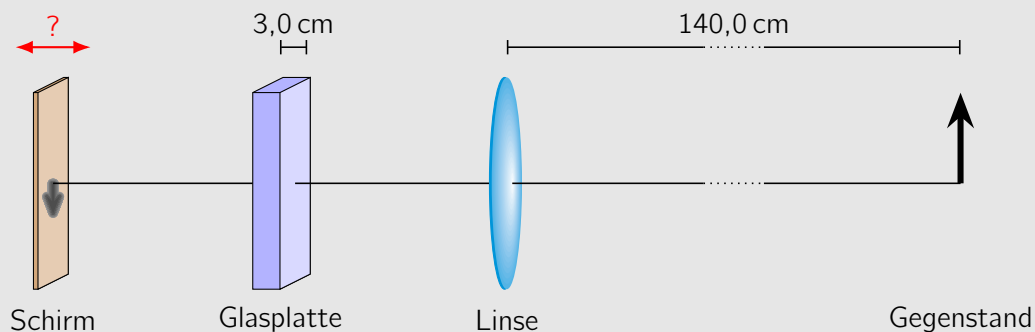


Abb. 1. Nicht maßstabsgerechte Skizze des Aufbaus.

9.b) Erkläre, welche Wirkung die Glasplatte auf einen nicht senkrecht einfallenden Lichtstrahl hat. Begründe damit, ob der Schirm zum Erzeugen eines scharfen Bildes näher an die Linse gerückt oder weiter von ihr entfernt werden muss.

9.c) Bestimme den Betrag Δb der notwendigen Verschiebung des Schirms.

Du kannst vereinfachend davon ausgehen, dass nur achsennahe Strahlen an dem Abbildungsprozess beteiligt sind.

Antwortteil

9.a) Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die Brennweite der Linse:

9.b)

Rechnungen und Erläuterungen

9.c)

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die Verschiebung des Schirms:

Aufgabe 10 Wettlauf zwischen Photon und Proton

(2. Rd. zur IPhO 2019, Aufgabengruppe der PhysikOlympiade - Richard Reindl & Thomas Hellerl)

Bei einer Supernova in Barnards Galaxie, einer Nachbargalaxie unserer Milchstraße, gehen ein Photon und ein Proton gleichzeitig auf die Reise zur Erde. Dort wird das Proton 72 Stunden später registriert als das Photon. Die Gesamtenergie des Protons beträgt $9,38 \text{ TeV} = 9,38 \cdot 10^{12} \text{ eV}$.

- 10.a) Zeige, dass die Gesamtenergie des Protons etwa das 10.000-fache seiner Ruheenergie beträgt. (3,0 Pkt.)
- 10.b) Berechne, in welcher Entfernung von der Erde die Supernova stattfand. Gib dein Ergebnis in Lichtjahren an. (5,0 Pkt.)
- 10.c) Bestimme, wie lange die Reise des Protons in seinem Bezugssystem gedauert hat. (2,0 Pkt.)

Antwortteil

10.a)

Rechnungen und Erläuterungen

10.b)

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die Entfernung von der Erde in der die Supernova stattfand:

10.c)

Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die Dauer der Reise des Protons in seinem Bezugssystem:

Aufgabe 11 Grundlagen der Laserkühlung

(3. Rd. zur IPhO 2017, angelehnt an Aufgabe der IPhO 2009)

In dieser Aufgabe wird die Grundlage der Kühlung eines Gases mit Hilfe von Lasern untersucht.

Betrachte dazu ein Atom, das sich mit einer Geschwindigkeit v in eine Richtung bewegt. Der Einfachheit halber beschränken wir uns bei der folgenden Betrachtung auch nur auf diese eine Dimension. Das Atom besitzt zwei innere Energiezustände und befindet sich anfänglich im Grundzustand. Die Energiedifferenz zwischen den beiden Zuständen beträgt $h f_0$.



Entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung des Atoms verläuft ein Laserstrahl der Frequenz f_{ph} . Bei passender Wahl der Frequenz f_{ph} kann das Atom ein Photon des Laserstrahls absorbieren und anschließend spontan emittieren. Dabei geschieht die Emission mit gleicher Wahrscheinlichkeit mit oder entgegen der Bewegungsrichtung des Atoms.

Nimm im Folgenden an, dass die Geschwindigkeit v sehr viel kleiner als die Lichtgeschwindigkeit c ist und dass der Impuls des Atoms sehr viel größer als der Impuls eines einzelnen Photons ist.

- 11.a) Bestimme die mittlere Änderung der kinetischen Energie des Atoms im Laborsystem, wenn dieses ein Photon absorbiert und anschließend wieder emittiert. Berechne auch die mittlere Änderung der Geschwindigkeit des Atoms in einem solchen Prozess.

Bei der Laserkühlung von Atomen wird nun zusätzlich ein Laserstrahl in Richtung der Geschwindigkeit des Atoms verwendet, dessen Photonen ebenfalls die Frequenz f_{ph} besitzen. Eine genaue Untersuchung des Kühlmechanismus ist aufwändiger. Die vorangehende Untersuchung erlaubt es dir aber, das Grundprinzip der Laserkühlung zu verstehen.

- 11.b) Erläutere qualitativ, wie die beschriebene Anordnung zur Kühlung, also zur Abbremsung, von Atomen verwendet werden kann. Gib dabei auch an, ob die Frequenz f_{ph} der Photonen größer, kleiner oder gleich der Anregungsfrequenz f_0 der Atome gewählt werden muss.

Antwortteil

- 11.a) Rechnungen und Erläuterungen

11.b)

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Ergebnis für die Änderungen von kinetischer Energie und Geschwindigkeit:

11.c)

Rechnungen und Erläuterungen

Aufgabe 12 Fadenpendel

(Begleitheft der 1. Runde zur 50. IPhO 2019)

Aus einem dünnen Faden und einem kleinen Gewicht, wie zum Beispiel einer Schraube oder Mutter, lässt sich ein einfaches Fadenpendel bauen. Wenn die Ausdehnung des Gewichtes sehr klein gegenüber der Fadenlänge ℓ ist, gilt für die Schwingungsdauer T des Pendels bei kleinen Auslenkungen

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}.$$

Dabei bezeichnet g die Schwerebeschleunigung auf der Erde. Theoretisch sollte damit T^2 eine lineare Funktion der Fadenlänge ℓ sein.

Die folgende Tabelle stellt in einem Experiment gemessene Werte der Schwingungsperioden T zusammen mit der gemittelten Schwingungsperiode $\bar{T}$ und dem Quadrat dieser Größe dar.

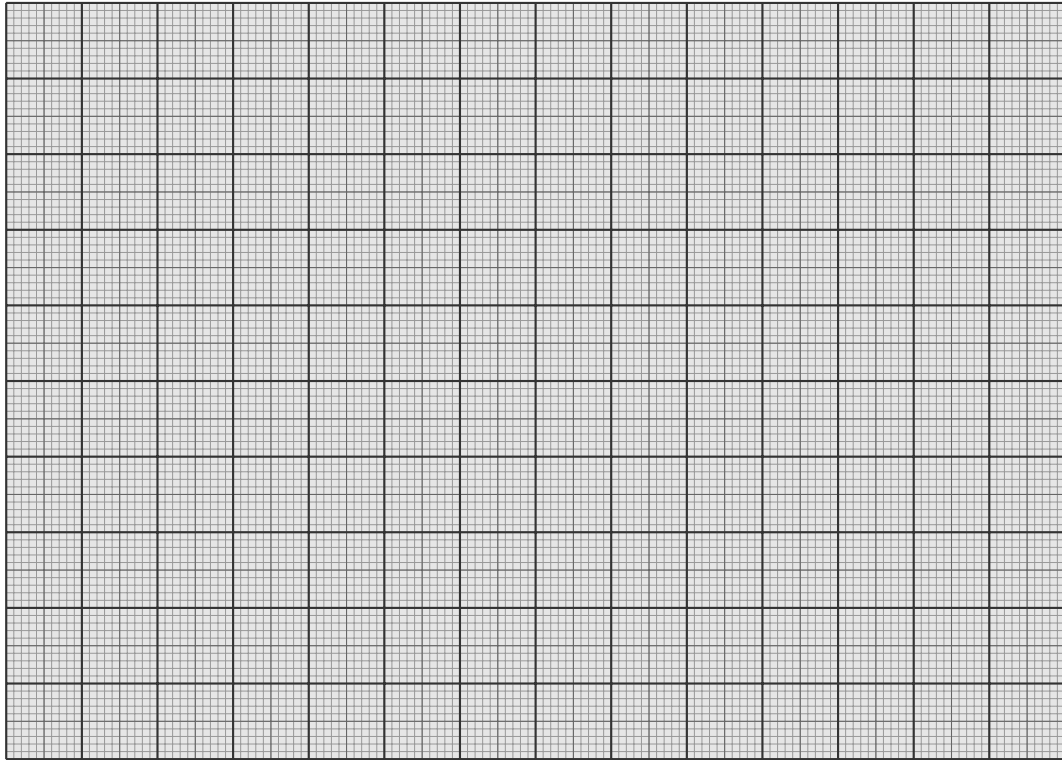
Fadenlänge	Zeit für 10 Schwingungsperioden					Mittelwert	
ℓ / cm	10 T / s					$\bar{T}$ / s	$\bar{T}^2$ / s ²
67,2	16,62	16,87	15,43	17,50	17,61	1,68	2,82
55,5	15,12	13,94	16,18	15,04	15,53	1,51	2,29
47,0	13,79	12,60	13,37	14,41	14,80	1,38	1,90
34,5	11,93	13,02	10,77	12,18	11,72	1,19	1,42
22,0	9,50	11,44	9,24	9,59	8,73	0,97	0,94
13,4	7,91	6,38	8,32	8,91	7,89	0,79	0,62

Überprüfe mit Hilfe eines geeigneten Graphen, ob die experimentellen Daten zu dem theoretisch erwarteten Verlauf passen und bestimme den Wert der Schwerebeschleunigung g .

Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Graph



Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Ergebnis: