



# **50. Internationale PhysikOlympiade**

## **Tel Aviv, Israel 2019**

### **Vorbereitungsmaterial zur 2. Runde des Auswahlwettbewerbs**

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

zur Vorbereitung auf die Klausur der 2. Runde im Auswahlwettbewerb zur Internationalen PhysikOlympiade 2019 haben wir in diesen Vorbereitungsmaterialien für dich und deine betreuende Lehrkraft Informationen zu Format und Inhalten sowie einige Beispielaufgaben zusammengestellt.

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.

Die Beispielaufgaben greifen klausurrelevante Themen und das Aufgabenformat der Klausuren auf. Für weitere Aufgabenbeispiele kannst du dir auch gerne die Aufgaben der 1. Wettbewerbsrunden der letzten Jahre auf der IPhO-Webseite [www.ipho.info](http://www.ipho.info) ansehen. Lösungen zu den Beispielaufgaben am Ende dieser Materialien kannst du ab etwa dem 25. Oktober auf der IPhO-Webseite<sup>1</sup> herunterladen. 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.

Es ist sehr gut möglich, dass dieses Dokument noch Fehler enthält. Für Hinweise und Verbesserungsvorschläge unter [www.ipho.info](http://www.ipho.info) sind wir sehr dankbar. Wir werden die Fehler korrigieren und das Dokument aktualisieren. Die jeweils aktuelle Fassung ist unter diesem Link<sup>2</sup> herunterladbar.

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 und Erfolg bei der Vorbereitung. Dein Team der PhysikOlympiade in Deutschland.

<sup>1</sup>Der Link ist [http://wettbewerbe.ipn.uni-kiel.de/ipho/data/50\\_IPhO\\_2019\\_2Rd\\_Vorbereitungsaufgaben\\_Loesung.pdf](http://wettbewerbe.ipn.uni-kiel.de/ipho/data/50_IPhO_2019_2Rd_Vorbereitungsaufgaben_Loesung.pdf)

<sup>2</sup>Der Link ist [http://wettbewerbe.ipn.uni-kiel.de/ipho/data/50\\_IPhO\\_2019\\_2Rd\\_Vorbereitungsmaterial.pdf](http://wettbewerbe.ipn.uni-kiel.de/ipho/data/50_IPhO_2019_2Rd_Vorbereitungsmaterial.pdf)



## Regeln und Hinweise zur Klausur für Schülerinnen und Schüler

In diesem Jahr wird die 2. Runde im Auswahlwettbewerb zur Internationalen PhysikOlympiade erstmalig als Klausurrunde durchgeführt. 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 1999 geboren sind.

- Der **Termin für die Klausur** ist bundesweit einheitlich Dienstag, der 13. November 2018. In besonderen Fällen kann deine Lehrkraft den Termin um ein bis zwei Tage verschieben.
- Die **Bearbeitungszeit** für die Klausur beträgt 180 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. Insbesondere darfst du keine Aufzeichnungen oder Formelsammlungen in der Klausur verwenden.
- Du erhältst die Klausuraufgaben in einem verschlossenen und mit deinem Namen versehenen **Umschlag**. Öffne diesen erst, wenn die betreuende Lehrkraft das Signal zum Start der Klausur gibt.
- Insgesamt können in der Klausur **100 Punkte** erreicht werden. Zu jeder Aufgabe ist die maximal erreichbare Punktzahl in der Überschrift angegeben, bei Teilaufgaben direkt bei den Teilaufgaben.
- 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 **10 Multiple-Choice Aufgaben** zu lösen, bei denen jeweils vier Antwortalternativen zur Wahl stehen, von denen genau eine richtig ist. Für jede korrekte Antwortwahl erhältst du 2 Punkte. 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 3 Punkte vergeben. Für diesen Teil sind 60-80 Minuten eingeplant.
- Im zweiten Teil sind einige **längere theoretische Aufgaben** zu bearbeiten. Für diesen Teil sind 100-120 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 **Schülerinnen- bzw. Schülercode** 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 19. November an andere Teilnehmende weitergeben.

**Das Team der PhysikOlympiade in Deutschland wünscht dir viel Erfolg!**

## 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	$k_B$	$1,380\,65 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
Elektrische Feldkonstante	$\epsilon_0$	$8,854\,187\,817 \cdot 10^{-12} \text{ A s V}^{-1} \text{ m}^{-1}$
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	$\gamma, G$	$6,674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	$c_0$	$2,997\,924\,58 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
Magnetische Feldkonstante	$\mu_0$	$1,256\,637\,061 \cdot 10^{-6} \text{ V s A}^{-1} \text{ m}^{-1}$
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	$R_\infty$	$1,097\,373\,157 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$
Schallgeschwindigkeit in Luft	$c_{\text{Luft}}$	$343 \text{ m s}^{-1}$ (bei $20 \text{ °C}$ )
Stefan-Boltzmann-Konstante	$\alpha, \sigma$	$5,6704 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
Universelle Gaskonstante	$R$	$8,314\,46 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

## Hinweise zum Klausurformat

Die einzelnen Aufgaben der Klausur bestehen aus dem Aufgabentext mit einer Erklärung der Aufgabe und der eigentlichen Fragestellung sowie einer Box für deine Bearbeitung und Antwort. Bei einigen der Aufgaben ist ein Graph zu erstellen. 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 wäre die folgende:

### Rechnungen und Erläuterungen

Die beim Rutschen insgesamt verlorene potentielle Energie der Kästen ist proportional zur Masse  $m$  und zur Höhendifferenz  $\Delta h$  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

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

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 2 Punkte. Wenn keine, eine falsche oder mehr als eine Antwortoption angegeben ist, werden dafür Null Punkte vergeben. Bis zu weitere 3 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

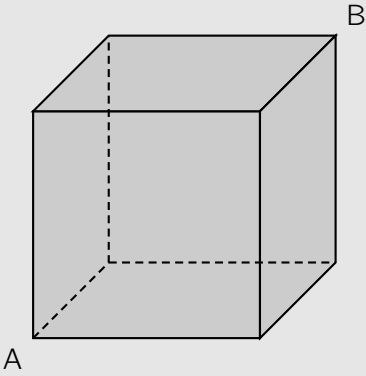
Die längeren theoretischen Aufgaben entsprechen vermutlich dem Format, das du aus der Schule gut kennst. Zu jeder Aufgabe kann es mehrere Unteraufgaben geben. Eine (eher kurze) Aufgabe in diesem Format kann beispielsweise folgendermaßen aussehen:

**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.

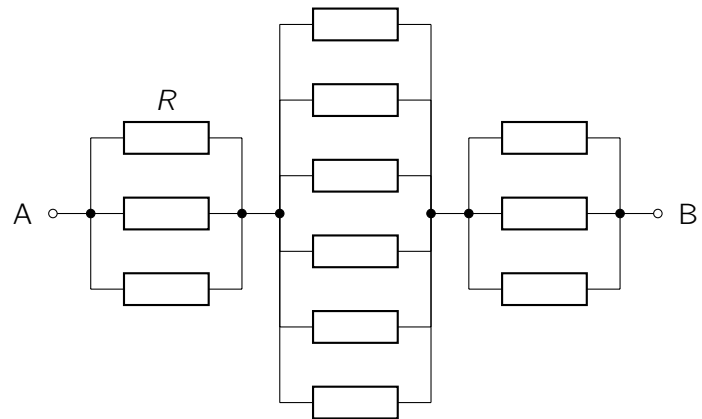
Rechnungen und Erläuterungen

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  $120^\circ$  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

$$R_{AB} = \frac{R}{3} + \frac{R}{6} + \frac{R}{3} = \frac{5}{6} R = \frac{5}{6} \cdot 1,0 \Omega \approx 0,83 \Omega. \quad (0.1)$$

## 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 unter [wettbewerb.ipn.uni-kiel.de/iphO/anforderungen.html](http://wettbewerb.ipn.uni-kiel.de/iphO/anforderungen.html) auf der IPhO-Webseite. Der Stoffkatalog geht in Teilen deutlich 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 Internet<sup>3</sup> anschaust und dann versuchst, die Aufgabenbeispiele im letzten Teil 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 Formel 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 Schwerebeschleunigung 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.

---

<sup>3</sup>Für viele der Konzepte findest du zum Beispiel auf [www.leifiphysik.de](http://www.leifiphysik.de) Erklärungen und Aufgaben zum Testen deines Wissens. Oftmals bietet auch die deutschsprachige Wikipedia hilfreiche Erklärungen.

Für die Abschnitte 2.2-2.7 sind im Folgenden die relevanten Begriffe und Konzepte aufgeführt, mit denen du für die Klausur vertraut sein solltest.

## 2.2 Mechanik

2.2.1 Kinematik Geschwindigkeit und Beschleunigung einer Punktmasse als zeitliche Änderungen des Ortsvektors bzw. Geschwindigkeitsvektors. Lineargeschwindigkeit, Zentripetal- und Tangentialbeschleunigung. Bewegung einer Punktmasse mit konstanter Beschleunigung. Addition von Geschwindigkeiten und Winkelgeschwindigkeiten; Addition von Beschleunigungen. Bewegung eines starren Körpers als Rotation um eine momentane Rotationsachse.

2.2.2 Statik Schwerpunktbestimmung durch Summation oder Integration. Gleichgewichtsbedingungen: Kräftegleichgewicht (vektoriell oder in Form von Projektionen). Normalkraft, Spannkraft, (Haft- und Gleit-)reibung; Hookesches Gesetz; Druck; stabile und instabile Gleichgewichte.

2.2.3 Dynamik 2. Newtonsches Gesetz (in Vektorform und in Komponenten); kinetische Energie für Translations- und Rotationsbewegungen. Potentielle Energie für einfache Kraftfelder. Impuls, Drehimpuls, Energie und deren Erhaltungssätze. Mechanische Arbeit und Leistung; Entwertung aufgrund von Reibung. Inertialsysteme und Nicht-Inertialsysteme als Bezugssysteme: Trägheitskraft, Zentrifugalkraft. Konzept des Trägheitsmoments und Trägheitsmomente für einfache Körper (Ring, Scheibe, Kugel, Hohlkugel, Stab), Steinerscher Satz.

2.2.4 Himmelsmechanik Gravitationsgesetz, Gravitationspotential, Keplersche Gesetze.

2.2.5 Hydrodynamik Druck, Auftrieb, Kontinuitätsgleichung.

## 2.3 Elektromagnetische Felder

2.3.1 Basiskonzepte Konzepte der Ladung und des Stromes; Ladungserhaltung und Kirchhoffs Stromgesetz (Knotenregel). Coulomb-Kraft; elektrostatisches Feld als ein Potentialfeld; Kirchhoffs Spannungsgesetz (Maschenregel). Magnetisches  $B$ -Feld; Lorentzkraft.

2.3.3 Wechselwirkung von Materie mit elektrischen und magnetischen Feldern Widerstandswert und Leitfähigkeit. Ladungen in elektrischen Feldern und Magnetfeldern: schraubenförmige Bewegung, Zyklotronfrequenz, Ablenkung in gekreuzten  $E$ - und  $B$ -Feldern.

2.3.4 Stromkreise Linearer Widerstand und ohmsches Gesetz; in Leitern umgesetzte Leistung; ideale und nicht-ideale Batterien, Gleichstromquellen, Amperemeter, Voltmeter und Widerstandsmessgeräte. Kondensator und Kapazität; Induktivität; Zeitkonstanten für RL- und RC-Kreise. Wechselstromkreise: komplexe Amplitude; Impedanzen von Widerständen, Spulen, Kondensatoren und Kombinationen; Strom- und Spannungsresonanz.

## 2.4 Schwingungen und Wellen

2.4.5 Geometrische Optik und Photometrie Näherungen der geometrischen Optik: Strahlen und optische Bilder. konvex und konkav gekrümmte Linsenoberflächen als Sammell- und Zerstreuungslinsen; Dünne-Linsen-Näherung; Konstruktion von Bildern durch ideal angenommene dünne Linsen; Abbildungsgleichung; Kombinationen dünner Linsen.

**2.5 Relativitätstheorie** Prinzip der Relativität und Lorentz-Transformation für Zeit- und Raumkoordinaten, und für die Energie und den Impuls; Masse-Energie-Äquivalenz. Zeitdilatation; Längenkontraktion; Energie und Impuls von Photonen; Erhaltung der Energie und des Impulses für elastische und inelastische Wechselwirkungen von Teilchen.



## 2.7 Thermodynamik und statistische Physik

2.7.1 Klassische Thermodynamik Konzept des thermischen Gleichgewichts und reversible Prozesse; Kelvinskala. Kinetische Theorie idealer Gase: Avogadro-Konstante, Boltzmann-Faktor und Gaskonstante; Gesetz des idealen Gases. Isotherme, isobare, isochore und adiabatische Prozesse; Kreisprozess.

2.7.2 Wärmetransfer und Phasenübergänge Phasenübergänge (sieden, verdunsten, schmelzen, sublimieren) und latente Wärme; Sättigungsdampfdruck, relative Luftfeuchtigkeit; Konzept der Wärmeleitfähigkeit; Kontinuität des Wärmeflusses.

**3.6 Datenanalyse** In diesem Abschnitt ist es wichtig, dass du in der Lage bist, gegebene Daten für eine spätere Auswertung sinnvoll graphisch darzustellen. Dazu versucht man in der Regel, eine bekannte oder vermutete Abhängigkeit in eine lineare Form zu bringen. Diese Abhängigkeit lässt sich graphisch durch das Fitten einer Ausgleichsgeraden an die Daten darstellen. Relevante physikalische Informationen finden sich in der Regel in der Steigung der Ausgleichsgeraden und/oder in deren Achsenabschnitten. Vergleiche hierzu auch die Aufgabe Fadenpendel im folgenden Abschnitt.

Achte beim Erstellen von Graphen darauf, deine Achsen sinnvoll zu beschriften und so zu skalieren, dass du sowohl möglichst viel von dem zur Verfügung stehenden Platz ausnutzt als auch deine Daten einfach einzeichnen kannst.

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

**4.2 Funktionen** Wesentliche Eigenschaften von 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.

**4.4 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

In diesem Abschnitt haben wir zu einigen der obigen Themen Aufgaben zusammengestellt, die 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 mit drei Multiple-Choice und sieben längeren Aufgaben größer als in der Klausur der kommenden 2. Runde.

Lösungen zu den gestellten Beispielaufgaben kannst du ab etwa dem 25. Oktober auf der IPhO-Webseite<sup>4</sup> herunterladen. 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.

### Aufgabe 1 Heiße Scheibe (MC-Aufgabe)

(1. Runde zur 48. IPhO 2017)

Eine Metallscheibe mit einem Loch in ihrer Mitte wird erwärmt.

Was passiert beim Erwärmen?

- A Das Loch wird größer.      B Das Loch wird kleiner.      C Das Loch bleibt gleich groß.  
D Diese Frage lässt sich ohne weitere Informationen nicht beantworten.

### Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

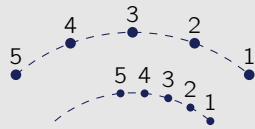
<sup>4</sup>Der Link ist [http://wettbewerbe.ipn.uni-kiel.de/ipho/data/50\\_IPhO\\_2019\\_2Rd\\_Vorbereitungsaufgaben\\_Loesung.pdf](http://wettbewerbe.ipn.uni-kiel.de/ipho/data/50_IPhO_2019_2Rd_Vorbereitungsaufgaben_Loesung.pdf)

## Aufgabe 2 Erde und Mars (MC-Aufgabe)

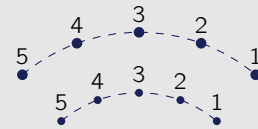
(1. Runde zur 48. IPhO 2017)

Die folgenden Abbildungen sollen, von rechts nach links, jeweils fünf Schnappschüsse der Bahnpositionen von Erde und Mars darstellen, die jeweils zu gleichen Zeiten aufgenommen worden sind. Die Verhältnisse der Bahnradien sind maßstabsgetreu, die Planeten aber stark vergrößert.

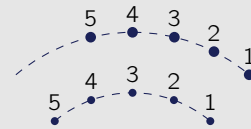
Gib an, welche der Abbildungen korrekt ist und begründe deine Antwort.



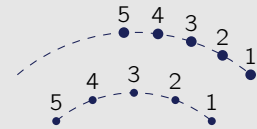
A



B



C



D



### Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

### Aufgabe 3 Wärmekapazität (MC-Aufgabe)

(1. Runde zur 48. IPhO 2017)

Die gleiche Wärmeenergie wird vier Proben verschiedener Stoffe zugeführt. Die Temperatur von 3 g des Stoffes A erhöht sich dabei um 8 K, die Temperatur von 4 g des Stoffes B um 5 K, die Temperatur von 6 g des Stoffes C um 9 K und die Temperatur von 7 g des Stoffes D um 4 K.

Welcher Stoff hat die höchste spezifische Wärmekapazität?

A

B

C

D

#### Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

## Aufgabe 4 Fadenpendel

(Begleitheft der 1. Runde zur 50. IPhO 2018)

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  $\ell$  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  $\ell$  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.

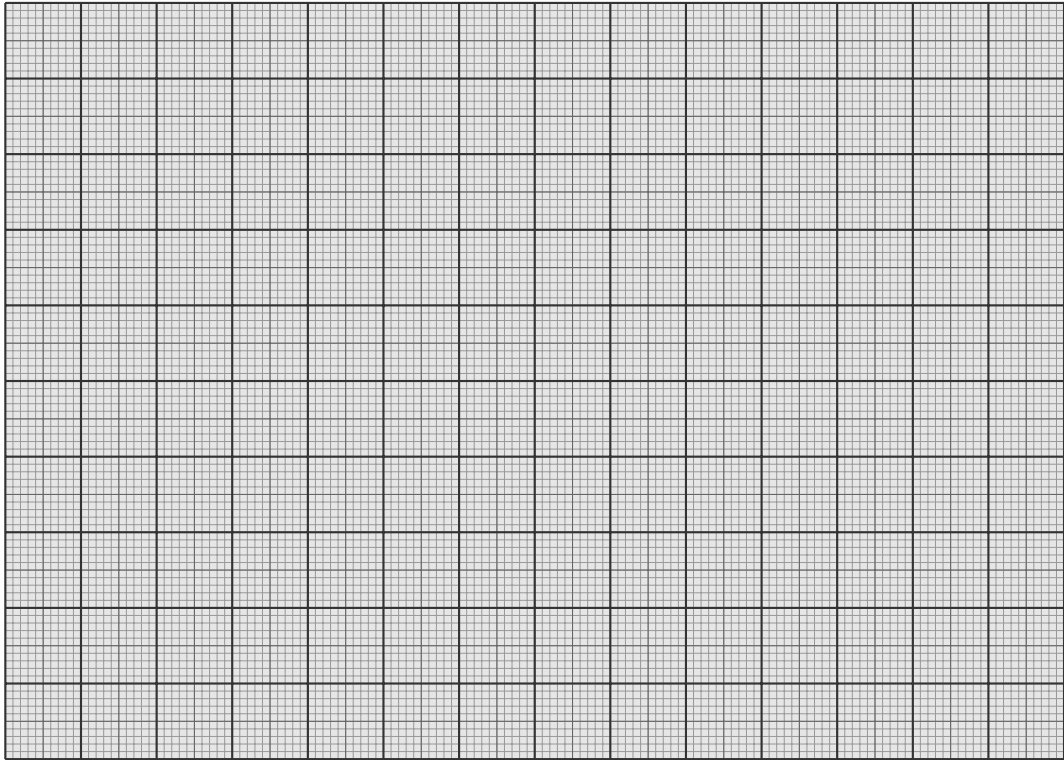
Fadenlänge	Zeit für 10 Schwingungsperioden					Mittelwert	
$\ell / \text{cm}$	$10 T / \text{s}$					$\bar{T} / \text{s}$	$\bar{T}^2 / \text{s}^2$
67,2	16,62	16,87	15,43	17,50	17,61	1,68	2,82
55,5	15,12	13,94	16,18	15,04	15,53	1,51	2,29
47,0	13,79	12,60	13,37	14,41	14,80	1,38	1,90
34,5	11,93	13,02	10,77	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)

## Aufgabe 5 Trägheitsmoment

(4. Runde zur 44. IPhO 2013)

Eine homogene Platte der Dicke  $d$  und Masse  $m$  besitze die Form eines gleichseitigen Dreiecks der Seitenlänge  $a$ .

Berechne das Trägheitsmoment der Platte bei Drehung um die zur Platte senkrechte Schwerpunktsachse.

*Hinweis:* Es ist möglich (aber nicht zwingend erforderlich) diese Aufgabe ohne Integration zu lösen.

### Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

## Aufgabe 6 Abbildung mit Spiegel und Linse

(3. Runde zur 49. IPhO 2018)

Eine dünne Linse erzeugt ein Bild eines Objektes. Direkt hinter die Linse wird nun ein flacher Spiegel auf die optische Achse gestellt. Die Spiegelfläche ist dabei senkrecht zur optischen Achse. Die übrige Konfiguration bleibt unverändert. In diesem Fall entsteht ein Bild des Objektes, das denselben Betrag für die Vergrößerung aufweist.

Bestimme die Vergrößerung.

### Antwortteil

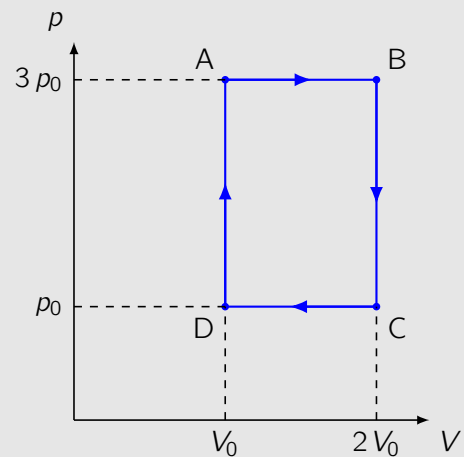
Rechnungen und Erläuterungen



### Aufgabe 7 Temperaturen in einem Kreisprozess

$n$  Mol eines idealen Gases durchlaufen den nebenstehenden Kreisprozess im Druck-Volumen- oder  $p$ - $V$ -Diagramm.

Bestimme die minimale und maximale Temperatur des Gases in Abhängigkeit von den gegebenen Größen.



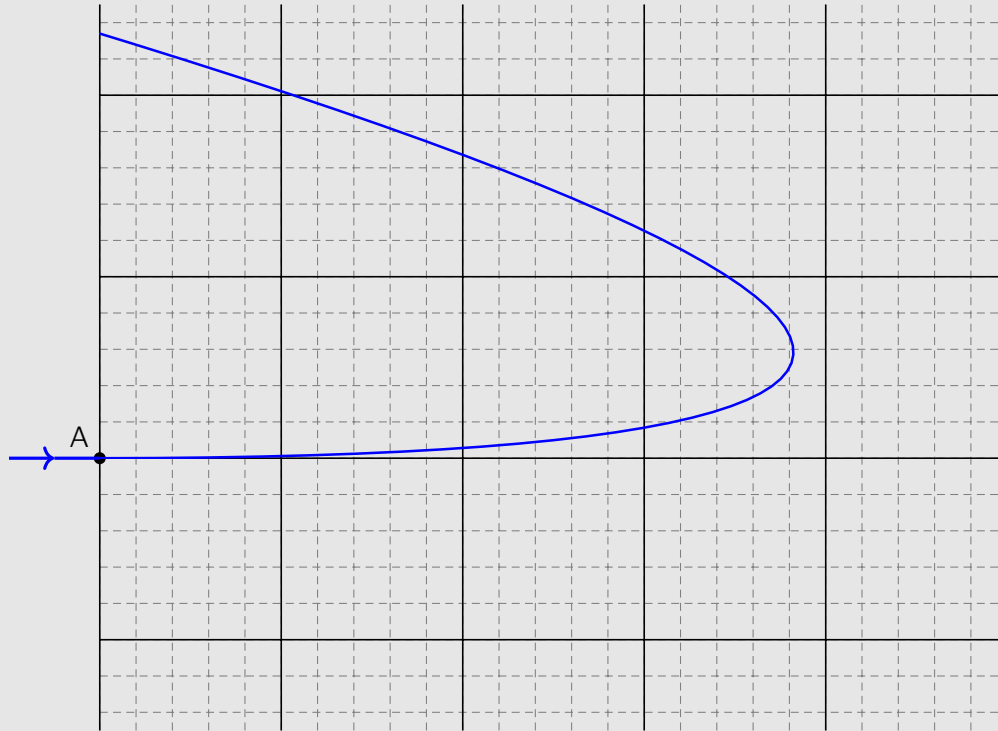
### Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

### Aufgabe 8 Abgelenkt

(1. Runde zur 47. IPhO 2016)

Ein zuvor mit einer Spannung von 100 V beschleunigtes Elektron tritt am Punkt A in ein homogenes elektrisches Feld ein. Die Bahn des Elektrons ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Der Abstand der gestrichelten Linien in der Abbildung entspricht 4,0 mm und die Bewegung des Elektrons verläuft in der Zeichenebene.



Bestimme die Stärke und die Richtung des elektrischen Feldes, das zur Ablenkung des Elektrons führt.

#### Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

## Aufgabe 9 Kondensator, Widerstand und Spule

(3. Runde zur 45. IPhO 2014)

Ein Kondensator, ein ohmscher Widerstand und eine Spule werden zusammen an eine Spannungsquelle, die eine sinusförmige Wechselspannung variabler Frequenz erzeugt, angeschlossen. Der folgende Graph zeigt den Verlauf des Scheinwiderstandes  $|Z|$ , also des Betrages des komplexen Widerstandes, der Schaltung als Funktion der Frequenz der Wechselspannung. Auch für höhere Frequenzen fällt der Scheinwiderstand nicht unter  $400\ \Omega$ . Außerdem ist bekannt, dass der Widerstandswert des ohmschen Widerstandes unter  $200\ \Omega$  liegt.

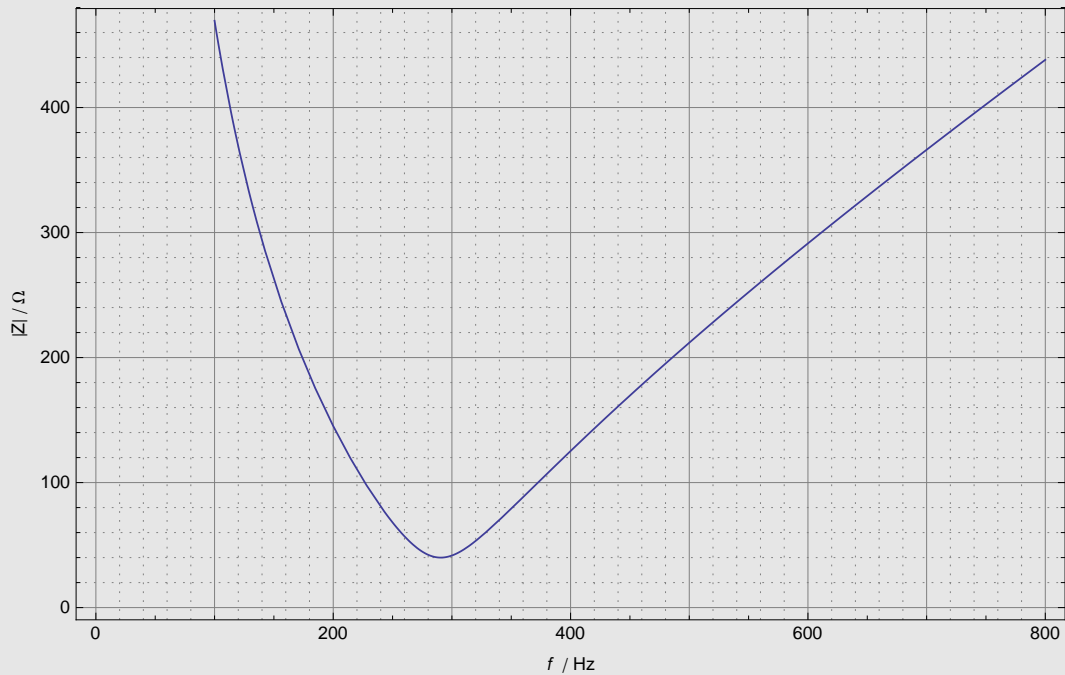


Abbildung 1: Scheinwiderstand der Schaltung als Funktion der Wechselspannungsfrequenz.

Gib an, wie die drei Bauteile verschaltet sind und begründe deine Angabe. Bestimme die Kapazität  $C$  des Kondensators, den Wert  $R$  des Widerstandes sowie die Induktivität  $L$  der Spule.

### Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

## Aufgabe 10 Protonen im Beschleuniger

(Idee: Thomas Hellerl)

Protonen mit Ruhemasse  $m_0 = 1,67 \cdot 10^{-27}$  kg und einer Geschwindigkeit  $v$  kreisen in einem Beschleunigerring mit Radius  $r = 1,50$  km, der senkrecht von einem homogenen Magnetfeld der Flussdichte  $B = 8,07$  mT durchsetzt ist.

- Zeige durch einen Kraftansatz, dass die Protonen einen Impuls von  $1,94 \cdot 10^{-18}$  Ns besitzen.
- Begründe mit einer klassischen Abschätzung der Protonengeschwindigkeit  $v$ , dass die Protonen relativistisch zu behandeln sind.
- Bestimme die Gesamtenergie der Protonen mit dem Ergebnis aus a) in relativistischer Rechnung in J, in MeV und als Vielfaches der Ruheenergie.
- Berechne die Geschwindigkeit  $v$  der Protonen in m/s und als Bruchteil von  $c$ .
- Bestimme die von dem bewegten Proton „beobachtete“ Umfangslänge des Speicherrings.

### Antwortteil

Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)