

2020

Berufliches Gymnasium

Original-Prüfungsausschuss

**MEHR
ERFAHREN**

Baden-Württemberg

Physik TG

+ Aufgaben zur Relativitätstheorie



STARK

Inhalt

Vorwort	
Stichwortverzeichnis	
Liste der physikalischen Konstanten und Beziehungen	

Hinweise und Tipps zum Abitur in Physik

Die gymnasiale Oberstufe des Beruflichen Gymnasiums	I
Lehrpläne und inhaltliche Vorgaben für die Abiturprüfung	I
Durchführung der Abiturprüfung im Fach Physik	III
Bearbeitung der Prüfungsaufgaben	III
Bewertung der Prüfungsarbeiten	IV
Zum Umgang mit diesem Buch	IV

Übungsaufgaben zur Speziellen Relativitätstheorie

Aufgabe 1: Myonenzerfall	1
Aufgabe 2: Gleichzeitigkeit	1
Aufgabe 3: Elektronengeschwindigkeit	1
Lösungen	2

Abiturprüfung 2012 (TG)

Aufgabe 1	Mechanik und Elektrizitätslehre	2012-1
Aufgabe 2	Elektrizitätslehre und Schwingungen/Wellen/Quanten	2012-11
Aufgabe 3	Schwingungen/Wellen/Quanten und Mechanik	2012-20

Abiturprüfung 2013 (TG)

Aufgabe 1	Mechanik und Elektrizitätslehre	2013-1
Aufgabe 2	Elektrizitätslehre und Schwingungen/Wellen/Quanten	2013-9
Aufgabe 3	Schwingungen/Wellen/Quanten und Mechanik	2013-16

Abiturprüfung 2014 (TG)

Aufgabe 1	Mechanik und Elektrizitätslehre	2014-1
Aufgabe 2	Elektrizitätslehre und Schwingungen/Wellen/Quanten	2014-10
Aufgabe 3	Schwingungen/Wellen/Quanten und Mechanik	2014-19

Abiturprüfung 2015 (TG)

Aufgabe 1	Mechanik und Elektrizitätslehre	2015-1
Aufgabe 2	Elektrizitätslehre und Schwingungen/Wellen/Quanten	2015-9
Aufgabe 3	Schwingungen/Wellen/Quanten und Mechanik	2015-18

Fortsetzung nächste Seite

Abiturprüfung 2016 (TG)

Aufgabe 1	Mechanik und Elektrizitätslehre	2016-1
Aufgabe 2	Elektrizitätslehre und Schwingungen/Wellen/Quanten	2016-10
Aufgabe 3	Schwingungen/Wellen/Quanten und Mechanik	2016-19

Abiturprüfung 2017 (TG)

Aufgabe 1	Mechanik und Elektrizitätslehre	2017-1
Aufgabe 2	Elektrizitätslehre und Schwingungen/Wellen/Quanten	2017-9
Aufgabe 3	Schwingungen/Wellen/Quanten und Mechanik	2017-17

Abiturprüfung 2018 (TG)

Aufgabe 1	Mechanik und Elektrizitätslehre	2018-1
Aufgabe 2	Elektrizitätslehre und Schwingungen/Wellen/Quanten	2018-10
Aufgabe 3	Schwingungen/Wellen/Quanten und Mechanik	2018-18

Abiturprüfung 2019 (TG)

Aufgabe 1	Mechanik und Elektrizitätslehre	2019-1
Aufgabe 2	Elektrizitätslehre und Schwingungen/Wellen/Quanten	2019-10
Aufgabe 3	Schwingungen/Wellen/Quanten und Mechanik	2019-18

Jeweils zu Beginn des neuen Schuljahres erscheinen die neuen Ausgaben der Abitur-Prüfungsaufgaben mit Lösungen.

Autor der Übungsaufgaben und Lösungen

bis 2016: StD Dr. Axel Hoffmann
ab 2017: Redaktion Stark Verlag

Vorwort

Liebe Schülerinnen und Schüler,

das vorliegende Buch bietet Ihnen die Möglichkeit, sich optimal auf die schriftliche Abiturprüfung im Fach Physik vorzubereiten. Dazu stellen wir Ihnen eine umfangreiche Sammlung an Aufgaben zur Verfügung, mit deren Hilfe Sie das im Unterricht Erlernte üben und aufarbeiten können.

Im ersten Teil finden Sie **„Hinweise zum Abitur in Physik“**. Sie enthalten Informationen zu Ablauf, Durchführung und Bewertung der Abiturprüfung am Beruflichen Gymnasium in Baden-Württemberg. Die Auflistung der inhaltlichen Vorgaben des Lehrplans gibt Ihnen einen Überblick über den Prüfungsstoff. Die Tipps zur Bearbeitung der Prüfungsaufgaben zeigen Ihnen, wie Sie erfolgreich an die Aufgaben der Abiturklausur herangehen können.

Der Hauptteil dieses Buches enthält die **offiziellen Abituraufgaben** ab 2012 (TG) und drei zusätzliche **Übungsaufgaben** zur Speziellen Relativitätstheorie. Zu allen Aufgaben gibt es **vollständige, ausführlich kommentierte Lösungsvorschläge**, zu den Abiturklausuren außerdem **separate Tipps zum Lösungsansatz**, die Ihnen das eigenständige Lösen der Aufgaben erleichtern.

Sollten nach Erscheinen dieses Bandes vom Kultusministerium noch wichtige Änderungen zu Inhalt oder Ablauf der Abiturprüfung 2020 bekannt gegeben werden, finden Sie aktuelle Informationen dazu im Internet unter www.stark-verlag.de/pruefung-aktuell.

Ich wünsche Ihnen viel Erfolg in der Abiturprüfung!

Dr. Axel Hoffmann

Hinweise und Tipps zum Abitur in Physik

Die gymnasiale Oberstufe des Beruflichen Gymnasiums

Mit dem Eintritt in das Berufliche Gymnasium besuchen Sie die Eingangsklasse und anschließend die Kursstufen 1 und 2 bis zum Abitur. In den Kursstufen müssen Sie neben dem richtungsbezogenen sechsstündigen Profulfach vierstündige Kernkompetenzfächer belegen. Das sind die Fächer Deutsch, Mathematik und eine Fremdsprache. Ferner gibt es eine Anzahl von Pflichtkursen, welche Sie verbindlich belegen müssen. Beachten Sie, dass Sie mindestens 36 Kurse besuchen müssen. Die möglichen Fächerkombinationen unterscheiden sich entsprechend dem Profil der einzelnen Beruflichen Gymnasien; sie sind aus dem Leitfaden, der vom Ministerium für Kultus, Jugend und Sport des Landes Baden-Württemberg herausgegeben wird, zu entnehmen:

<http://km-bw.de/Lde/Startseite/Schule/Technisches+Gymnasium>

In der Abiturprüfung werden Sie in fünf Fächern geprüft:

- Die **schriftliche Prüfung** erfolgt in vier Fächern, nämlich im jeweiligen Profulfach, in den Kernkompetenzfächern Mathematik, Deutsch oder der Fremdsprache A sowie in einem weiteren zu wählenden vierten Prüfungsfach.
- Die **mündliche Prüfung** erstreckt sich auf das fünfte gewählte Prüfungsfach. Die genauen Wahlmöglichkeiten sind ebenfalls dem Leitfaden zu entnehmen.

Für die Physik bedeutet dies: Sie können Physik als vierstündiges oder als zweistündiges Fach belegen, sofern es an der Schule angeboten wird.

Lehrpläne und inhaltliche Vorgaben für die Abiturprüfung

Der Lehrplan für die Eingangsklasse des Technischen Gymnasiums unterscheidet sich von den Lehrplänen der anderen Beruflichen Gymnasien. Der Grund dafür ist, dass am Technischen Gymnasium Physik mit drei Wochenstunden und einer Laborstunde unterrichtet wird, während an den anderen beruflichen Gymnasien Physik in der Eingangsklasse mit zwei Wochenstunden stattfindet. In den Kursstufen 1 und 2 sind die Lehrpläne für alle Beruflichen Gymnasien jedoch weitgehend gleich.

Die folgende Auflistung gibt Ihnen einen Überblick über die Inhalte des Lehrplans.

Klasse	Themen	Inhalte
<i>Eingangsklasse</i>	<i>Leitthema: Erhaltungssätze</i>	
	Kinematik	Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit und konstanter Beschleunigung; freier Fall
	Dynamik	Masse, Kraft, Kraft als Vektor; Gesetz von Hooke; Impuls, Impulserhaltung, Grundgesetz der Mechanik; Reibung, schiefe Ebene
	Arbeit und Energie	Arbeit, Energie; Leistung, Wirkungsgrad; Energieerhaltung

<i>Eingangsklasse</i>	<i>Leitthema: Erhaltungssätze (Fortsetzung)</i>	
	Wärmelehre (nur im Lehrplan des TG)	Wärme, Temperatur, absolute Temperatur; allgemeines Gasgesetz; kinetische Gastheorie; erster und zweiter Hauptsatz der Wärmelehre
	Grenzen der klassi- schen Physik (nur im Lehrplan des TG)	Grundzüge der speziellen Relativitätstheorie; Ausblick auf die Quantentheorie; Grundge- danken der Chaostheorie
<i>Jahrgangsstufe 1</i>	<i>Leitthema: Felder</i>	
	Gravitationsfeld	Newton'sches Gravitationsgesetz, Potenzial; Grundzüge der allgemeinen Relativitätstheorie
	Elektrisches Feld	Elektrische Feldstärke, Spannung, Potenzial, homogenes Feld, Coulombfeld, Elementar- ladung, Energie des Feldes
	Magnetisches Feld	Magnetfelder von Leiter, Ring, Spule; magne- tische Flussdichte, Kraft auf einen stromdurch- flossenen Leiter
	Bewegungen in Feldern	homogenes Feld, waagerechter Wurf; Zentral- feld, Lorentzkraft, Kreisbewegungen
<i>Jahrgangsstufe 2</i>	<i>Leitthema: Wellen und Quanten</i>	
	Schwingungen	Kenngrößen, Differenzialgleichungen, Bewegungsgesetze; Energiebetrachtungen; Resonanz, chaotische Schwingungen
	Wellen	Lineare Wellen, Interferenz, stehende Wellen; zwei- und dreidimensionale Wellen, Brechung, Beugung, Huygens'sches Prinzip; Lichtge- schwindigkeit, Licht als elektromagnetische Welle
	Grundlagen der Quantenphysik	Photonenmodell, Fotoeffekt, Planck'sche Kon- stante h , Fotoimpuls
	Elektronen als Quantenobjekte	Comptoneffekt, Paarerzeugung; Materiewel- len, de-Broglie-Beziehung, Elektronenbeugung
	Heisenbergs Unschärferelation	Unbestimmtheit von Ort und Impuls
	Grundzüge des Atommodells	Orbitale, Frank-Hertz-Versuch, Energie- zustände im Atom, Linienspektren
	Mögliche Wahlthemen (keine Themen der schriftlichen Prüfung)	Atom- und Kernphysik, Umweltp Physik, Elementarteilchenphysik, Spezielle Relativi- tätstheorie, Chaosphänomene, Astrophysik

Es wird in den Zielformulierungen des Lehrplans deutlich gemacht, dass Sie neben dem reinen Faktenerwerb die Fähigkeit entwickeln müssen, in Zusammenhängen zu denken: Sie sollen lernen physikalische Zusammenhänge verbal zu formulieren und erst danach mathematisch zu präzisieren; sie sollen lernen, wie man Modelle aufstellt und mit ihnen umgeht. Für die (Prüfungs-)Aufgaben heißt das:

- Es wird weniger die reine Rechenroutine, dafür mehr Problemlösungsstrategien abgefragt.
- Es werden weniger reine Fakten abgefragt, vielmehr wird das Verständnis physikalischer Sachverhalte überprüft.
- Es soll Kreativität gefördert werden. Die Aufgaben werden offener formuliert und damit mehrere Lösungswege zugelassen.

Durchführung der Abiturprüfung im Fach Physik

Die Bearbeitungszeit für die schriftlichen Prüfungen im Fach Physik (wie auch in anderen Fächern) beträgt 240 Minuten unabhängig davon, ob es sich um einen zwei- oder vierstündigen Kurs handelt. Sie erhalten drei Aufgaben zur Auswahl, aus denen Sie zwei zur Bearbeitung auswählen.

Ein Aufgabensatz umfasst folgende Aufgaben:

- Aufgabe 1: Mechanik und Elektrizitätslehre
- Aufgabe 2: Elektrizitätslehre und Schwingungen/Wellen/Quanten
- Aufgabe 3: Schwingungen/Wellen/Quanten und Mechanik

Durch diese thematische Aufteilung wird gewährleistet, dass in der Abiturprüfung alle vom Lehrplan vorgegebenen Bereiche abgeprüft werden. Es können Aufgaben durchaus auch Teile nicht explizit genannter Bereiche enthalten.

Aus dem Aufgabensatz sind zwei Aufgaben von Ihnen zu behandeln. Für jede Aufgabe sind 30 Verrechnungspunkte vorgesehen. Die maximale zu erreichende Punktezahl ist 60.

Bearbeitung der Prüfungsaufgaben

- Schauen Sie sich zuerst alle Aufgaben gut an und überlegen Sie mit Bedacht, welche Aufgabe für Sie die meisten Schwierigkeiten enthält. Legen Sie diese Aufgabe beiseite.
- Beginnen Sie mit dem Aufgabenblatt, in dem Sie die geringsten Probleme für die Lösung sehen.
- Lesen Sie den Text der einzelnen Teilaufgaben sorgfältig durch und versuchen Sie die Aufgaben in der vorgegebenen Reihenfolge zu lösen. Auch wenn die einzelnen Aufgabenteile für sich allein lösbar sind, so existiert überwiegend ein zusammenhängender logischer Gedankengang zwischen den einzelnen Teilaufgaben; diesen zu erkennen ist für die Lösung der Probleme von großer Hilfe.
- Die Aufgaben können zum Teil sehr offen gestellt sein, deshalb sind eventuell unterschiedliche Lösungswege möglich. Es ist deshalb wichtig, dass ihre Überlegungen in Sätzen fassen und aufschreiben. Stichworte oder nur Formeln und Rechnungen sind nicht ausreichend. Ein Lösungsansatz sollte zuerst verbal formuliert werden, bevor man mit der Berechnung beginnt oder eine Grafik anfertigt.
- Achten Sie darauf, dass jede Grafik ausreichend beschriftet ist, die Größen einer Formel benannt sind und jede Größe mit der entsprechenden Einheit versehen wurde.
- Enthält eine Arbeit zu viele Verstöße gegen Rechtschreibung, Grammatik oder Form, so können Ihnen dafür Verrechnungspunkte abgezogen werden.

Abiturprüfung an den beruflichen Gymnasien (TG) – Prüfungsfach: Physik (2018)
Aufgabe 1: Mechanik und Elektrizitätslehre

Punkte

- 1 Die Bahn für einen Spielzeugwagen besteht in ihrem Anfangsteil aus einer schiefen Ebene. Über einen Kreisübergangsbogen zwischen den Bahnpunkten B und U wird der Wagen in einen Looping mit dem Radius $r_1 = 30 \text{ cm}$ geführt.

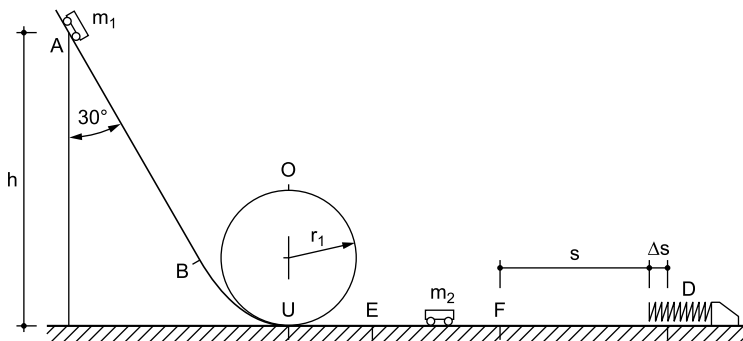


Abb. 1 (nicht maßstäblich)

Der Wagen mit einer Masse von $m_1 = 50 \text{ g}$ hat nach dem Durchlaufen des Loopings im Punkt E die Geschwindigkeit $v_E = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Der Spielzeugwagen wird als Massenpunkt auf Fahrbahnhöhe betrachtet. Reibung soll erst ab dem Punkt F berücksichtigt werden. Die am Ende der Fahrbahn angebrachte Feder hat eine Federkonstante von $D = 200 \frac{\text{N}}{\text{m}}$.

Rechnen Sie mit einer Fallbeschleunigung von $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

- 1.1 Bestimmen Sie die Beschleunigung des Spielzeugwagens auf der schiefen Ebene. Ermitteln Sie die Höhe h , von welcher der Wagen aus der Ruhe heraus gestartet werden muss, um in E eine Geschwindigkeit von $v_E = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ zu haben. 3
- 1.2 Berechnen Sie die Kraft, mit welcher der Wagen im Punkt U des Kreisbogens die Schiene belastet. 2
- 1.3 Der Looping soll vergrößert werden. Ermitteln Sie den maximalen Radius, sodass der Wagen im Punkt O gerade noch Kontakt zur Fahrbahn hat. 4
- 1.4 Zwischen den Punkten E und F prallt der Wagen 1 auf ebener Strecke völlig elastisch auf den stehenden Wagen der Masse $m_2 = 250 \text{ g}$.
 - 1.4.1 Berechnen Sie die Geschwindigkeit von Wagen 1 unmittelbar nach dem Stoß und die Impulsänderung, die der Wagen 1 durch den Stoß erfährt. 3
 - 1.4.2 Nach dem Stoß wird der Wagen 2 ab dem Punkt F mit einer konstanten Reibungskraft F_R gebremst. Nach einer Strecke von $s = 60 \text{ cm}$ trifft er auf die Feder, die seine Bewegung zusätzlich bis zum Stillstand verzögert. Berechnen Sie die Reibungskraft F_R , wenn die Feder dabei um $\Delta s = 5 \text{ cm}$ gestaucht wird. 3

- 2 Zur Untersuchung von Materialproben wird ein Massenspektrometer verwendet. Es ist aus folgenden Funktionsgruppen aufgebaut (Abbildung 2):

A: Erzeugung des Elektronenstrahls (Elektronenkanone)
 B: Ionisierung der Probe und Beschleunigung der Ionen
 C: Geschwindigkeitsfilter
 D: Trennung der Ionen nach ihrer Masse

Die Anordnung befindet sich im Vakuum. Die Gewichtskraft der Teilchen wird vernachlässigt. Es wird eine Probe aus Brom untersucht. Im Periodensystem der Elemente ist die Masse von Brom mit $m = 79,904 \text{ u}$ angegeben (atomare Masseneinheit $u = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$).

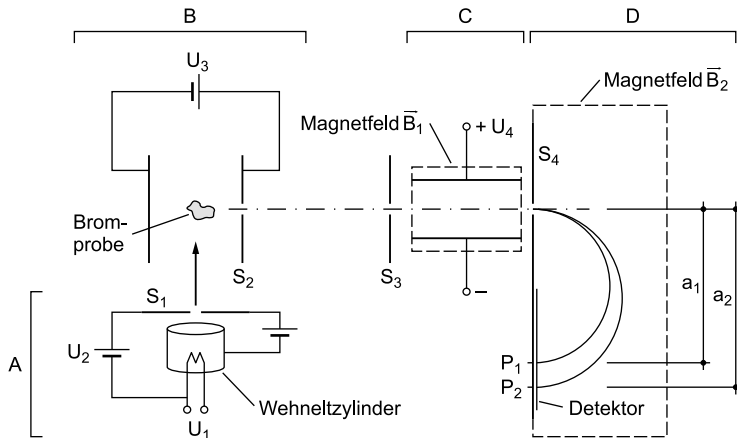


Abb. 2

- 2.1 Erzeugung des Elektronenstrahls (Funktionsgruppe A):
 Zunächst werden durch Glühemission Elektronen freigesetzt (Spannung U_1). Sie werden mittels der Spannung $U_2 = 1,8 \text{ kV}$ in Richtung der Probe beschleunigt.
 Beschreiben Sie, was man unter „Glühemission“ versteht.
 Berechnen Sie die kinetische Energie, mit der die Elektronen die Blende S_1 verlassen, wenn sie mit vernachlässigbar kleiner Geschwindigkeit emittiert werden. 2
- 2.2 Ionisierung und Beschleunigung (Funktionsgruppe B):
 Beim Auftreffen der Elektronen auf die Bromatome entstehen einfach negativ geladene Bromid-Ionen (Br^-). Die Ionisierung der Bromatome erfolgt in der Mitte des elektrischen Feldes der Spannung U_3 .
 Berechnen Sie die Spannung U_3 , damit die Bromid-Ionen auf eine Geschwindigkeit von $v = 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ beschleunigt werden.
 Vor der Beschleunigung können die Bromid-Ionen als ruhend betrachtet werden. 3

Tipps und Hinweise zur Lösung von Aufgabe 1

Tipps zu Teilaufgabe 1

- 1.1: *Beschleunigung*: Wie heißt die am Wagen angreifende Kraft? Wenden Sie das zweite Newton'sche Gesetz an.
Starthöhe: Nutzen Sie den Energieerhaltungssatz.
- 1.2: Es wirken zwei Kräfte auf den Wagen. Beachten Sie deren Richtungen.
- 1.3: Ausgangspunkt ist auch hier eine Kräftebilanz analog zu Teilaufgabe 1.2.
Welche Bedingung muss für die Kraft F_O des Wagens auf die Schiene am Punkt O gelten? Sie erhalten daraus eine erste Gleichung für v_O .
Eine zweite Gleichung für v_O erhalten Sie mithilfe des Energieerhaltungssatzes.
Eliminieren Sie v_O aus beiden Gleichungen, um den maximalen Radius zu berechnen.
- 1.4.1: Geeignete Formeln für den vollkommen elastischen Stoß finden Sie in Ihrer Formelsammlung.
- 1.4.2: Eine Gleichung für die Reibungskraft erhalten Sie, indem Sie die Energiebilanz des Vorgangs aufstellen.
Die Geschwindigkeit des Wagens 2 nach dem Stoß bekommen Sie wieder aus der entsprechenden Formel für den voll elastischen Stoß.

Tipps zu Teilaufgabe 2

- 2.1: Ein Blick auf die Baugruppe A der Versuchsanordnung hilft bei der Beschreibung der Glühemission.
Woher bekommen die beschleunigten Elektronen ihre kinetische Energie?
- 2.2: Stellen Sie wiederum eine Energiebilanz auf.
Achten Sie genau auf die (im Text beschriebene) Geometrie der Versuchsanordnung, um das für die Beschleunigung der Ionen relevante elektrische Feld zu bestimmen.
- 2.3.1: Wenden Sie die Drei-Finger-Regel der linken Hand an.
Vergessen Sie nicht, Ihre Skizze vollständig zu beschriften.
- 2.3.2: Stellen Sie die Kräftebilanz auf.
- 2.3.3: Beachten Sie, dass (nur) eine der beiden Kräfte in der Kräftebilanz von der Ionen-geschwindigkeit abhängt.
- 2.4.1: Welche Kraft wirkt wie auf die Ionen im homogenen Magnetfeld?
Setzen Sie die entsprechenden Kraftterme gleich.
Denken Sie daran, die berechneten Massen in atomaren Masseneinheiten u anzugeben.
- 2.4.2: Wie stark unterscheidet sich der Mittelwert vom Wert aus dem Periodensystem?
Schließen Sie hieraus auf die Verteilung der Isotope in der Bromprobe.

Lösung zu Aufgabe 1

- 1.1 Der Wagen wird längs der schiefen Ebene durch die Hangabtriebskraft F_H beschleunigt, es gilt das zweite Newton'sche Gesetz:

$$m_1 \cdot a = F_H$$

Die Hangabtriebskraft berechnet sich über die Beziehung

$$F_H = m_1 \cdot g \cdot \sin \varphi,$$

wobei φ der Neigungswinkel der schiefen Ebene gegenüber der Horizontalen ist. Da der in Abb. 1 eingezeichnete Winkel $\alpha = 30^\circ$ die Neigung gegenüber der Vertikalen angibt, gilt $\varphi = 90^\circ - \alpha = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$. Damit lässt sich die **Beschleunigung a** berechnen:

$$m_1 \cdot a = m_1 \cdot g \cdot \sin \varphi$$

$$\Rightarrow a = g \cdot \sin \varphi = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \sin 60^\circ = 8,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Um die **Starthöhe** zu ermitteln, wendet man den Energieerhaltungssatz an: Die potenzielle Energie der Lage, die der Wagen am Start in der Höhe h besitzt, wird vollständig in kinetische Energie des Wagens am Punkt E umgewandelt. Mit der Geschwindigkeit $v_E = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, die der Wagen dort erreicht, folgt:

$$W_{\text{pot}} = W_{\text{kin}}$$

$$m_1 \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m_1 \cdot v_E^2$$

$$\Rightarrow h = \frac{v_E^2}{2g} = \frac{\left(6 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1,8 \text{ m}$$

- 1.2 Auf den Wagen der Masse $m_1 = 50 \text{ g}$ wirken in der Kreisbahn (Radius r_1), die er im Looping durchläuft, zwei Kräfte:

- die in Betrag und Richtung konstante Gravitationskraft \vec{F}_G vom Betrag $F_G = m_1 \cdot g$ senkrecht nach unten;
- die geschwindigkeitsabhängige Zentripetalkraft \vec{F}_Z vom Betrag $F_Z = m_1 \cdot \frac{v^2}{r_1}$ radial nach innen.

Gesucht ist die **Kraft im Punkt U** des Loopings, die senkrecht zur Fahrtrichtung **vom Wagen auf die Schiene** wirkt. Sie ist gegeben durch die vektorielle Differenz von Gravitations- und Zentripetalkraft am Punkt U:

$$\vec{F}_U = \vec{F}_G - \vec{F}_{Z,U} \quad (*)$$

Wertet man nach oben gerichtete Kräfte positiv, nach unten gerichtete Kräfte negativ, so gilt mit $v_U = v_E$:

$$\begin{aligned} F_U &= -F_G - F_{Z,U} = -\left(m_1 \cdot g + m_1 \cdot \frac{v_U^2}{r_1} \right) = -m_1 \cdot \left(g + \frac{v_U^2}{r_1} \right) \\ &= -0,050 \text{ kg} \cdot \left(\frac{\left(6 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{0,30 \text{ m}} + 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = -6,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Der Wagen belastet die Schiene am Punkt U mit einer Kraft vom Betrag 6,5 N.

- 1.3 Wenn der Wagen im Punkt O gerade noch Kontakt zur Fahrbahn hat, muss dort die Kraft F_O auf die Schiene gerade null sein. Analog zur Kräftebilanz (*) aus Teilaufgabe 1.2 gilt dann:

$$\begin{aligned}\vec{0} &= \vec{F}_G - \vec{F}_{Z,O} \Leftrightarrow \vec{F}_{Z,O} = \vec{F}_G \Rightarrow F_{Z,O} = F_G \\ m_1 \cdot \frac{v_O^2}{r_{\max}} &= m_1 \cdot g \\ v_O^2 &= g \cdot r_{\max} \quad (1)\end{aligned}$$

Den Betrag v_O der Geschwindigkeit am Punkt O erhält man wieder aus dem Energieerhaltungssatz:

$$\begin{aligned}W_{\text{pot},O} + W_{\text{kin},O} &= W_{\text{kin},E} \\ m_1 \cdot g \cdot 2r_{\max} + \frac{1}{2} m_1 \cdot v_O^2 &= \frac{1}{2} m_1 \cdot v_E^2 \\ 4g \cdot r_{\max} + v_O^2 &= v_E^2 \Rightarrow v_O^2 = v_E^2 - 4g \cdot r_{\max} \quad (2)\end{aligned}$$

Durch Gleichsetzen der Beziehungen (1) und (2) kann v_O^2 eliminiert und der **maximal mögliche Radius** berechnet werden:

$$\begin{aligned}g \cdot r_{\max} &= v_E^2 - 4g \cdot r_{\max} \\ 5g \cdot r_{\max} &= v_E^2 \\ \Rightarrow r_{\max} &= \frac{v_E^2}{5g} = \frac{\left(6 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{5 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \underline{\underline{0,73 \text{ m}}}\end{aligned}$$

- 1.4.1 Für den voll elastischen Stoß lässt sich die **Geschwindigkeit u_1 des Wagens 1 unmittelbar nach dem Stoß** mithilfe des Impuls- und Energieerhaltungssatzes berechnen (Herleitung nicht verlangt). Mit $m_1 = 0,050 \text{ kg}$, $m_2 = 0,250 \text{ kg}$, $v_1 = v_E = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und $v_2 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ erhält man mit der entsprechenden Formel aus der Formelsammlung:

$$\begin{aligned}u_1 &= \frac{2m_2 \cdot v_2 + (m_1 - m_2) \cdot v_1}{m_1 + m_2} \stackrel{v_2=0}{=} \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \cdot v_1 \\ &= \frac{0,050 \text{ kg} - 0,250 \text{ kg}}{0,050 \text{ kg} + 0,250 \text{ kg}} \cdot 6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = -\frac{2}{3} \cdot 6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \underline{\underline{-4 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}\end{aligned}$$

Die **Impulsänderung Δp_1** , die der Wagens 1 durch den Stoß erfährt, ist gegeben durch die Differenz seiner Impulse nach (p'_1) und vor (p_1) dem Stoß:

$$\begin{aligned}\Delta p_1 &= p'_1 - p_1 = m_1 \cdot u_1 - m_1 \cdot v_1 = m_1 \cdot (u_1 - v_1) \\ &= 0,050 \text{ kg} \cdot \left(-4 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) = \underline{\underline{-0,50 \text{ Ns}}}\end{aligned}$$

Beachten Sie: Das Minuszeichen bei Δp_1 bedeutet nicht, dass der Impuls**betrag** um $0,50 \text{ Ns}$ abgenommen hat; dieser hat sich lediglich um $0,3 \text{ Ns} - 0,2 \text{ Ns} = 0,10 \text{ Ns}$ verringert. Vielmehr drückt das Vorzeichen den vektoriellen Charakter der Impulsänderung aus, vgl. Abb. 3.

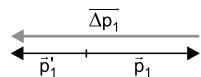


Abb. 3

- 1.4.2 Man stellt zunächst die **Energiebilanz** des gesamten Bewegungsvorgangs auf: Der Wagen 2 besitzt nach dem Stoß die Geschwindigkeit u_2 , die er bis zum Punkt F beibehält (die Reibung wird nach Voraussetzung erst ab F berücksichtigt); seine kinetische Energie bei F beträgt also $W_{\text{kin, F}} = \frac{1}{2} m_2 \cdot u_2^2$.

Hinter F geht diese Energie zum einen über in Reibungsenergie W_R , die längs der gesamten Strecke $s + \Delta s$ entsteht, es gilt $W_R = F_R \cdot (s + \Delta s)$. Zum anderen wird längs des letzten Streckenabschnitts Δs kinetische Energie in Spannenergie $W_{\text{sp}} = \frac{1}{2} D \cdot (\Delta s)^2$ der Feder umgesetzt. Insgesamt gilt (Energieerhaltungssatz):

$$W_{\text{kin, F}} = W_{\text{sp}} + W_R$$

$$\frac{1}{2} m_2 \cdot u_2^2 = \frac{1}{2} D \cdot \Delta s^2 + F_R \cdot (s + \Delta s)$$

Durch Umstellen erhält man für die gesuchte **Reibungskraft F_R** :

$$m_2 \cdot u_2^2 - D \cdot \Delta s^2 = 2F_R \cdot (s + \Delta s)$$

$$F_R = \frac{m_2 \cdot u_2^2 - D \cdot \Delta s^2}{2 \cdot (s + \Delta s)} \quad (**)$$

In der Beziehung (**) sind bis auf u_2 alle Größen bekannt. Um u_2 zu ermitteln, verwendet man analog zu Teilaufgabe 1.4.1 die entsprechende Formel für den voll elastischen Stoß aus der Formelsammlung:

$$\begin{aligned} u_2 &= \frac{2m_1 \cdot v_1 + (m_2 - m_1) \cdot v_2}{m_1 + m_2} \stackrel{v_2=0}{=} \frac{2m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_1 \\ &= \frac{2 \cdot 0,050 \text{ kg}}{0,050 \text{ kg} + 0,250 \text{ kg}} \cdot 6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{1}{3} \cdot 6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Einsetzen aller Zahlenwerte in (**) ergibt:

$$F_R = \frac{0,250 \text{ kg} \cdot \left(2 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 - 200 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot (0,05 \text{ m})^2}{2 \cdot (0,60 \text{ m} + 0,05 \text{ m})} = \underline{\underline{0,38 \text{ N}}}$$

- 2.1 Bei der **Glühemission** wird – hier durch den elektrischen Strom im Heizstromkreis der Spannung U_1 – ein Metalldraht bis zum Glühen erhitzt. Die Energiezufuhr, die die Elektronen im Metall durch das Erhitzen erhalten, ermöglicht einem Teil von ihnen, den Metallverbund zu verlassen; sie werden aus dem Draht emittiert.

Die **kinetische Energie**, mit der die Elektronen die Blende S_1 passieren, stammt unter der Voraussetzung, dass sie praktisch aus der Ruhe heraus gestartet sind, vollständig aus dem elektrischen Beschleunigungsfeld der Spannung U_2 . Mit $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$ gilt:

$$W_{\text{kin}} = W_{\text{el}} = e \cdot U_2 = e \cdot 1,8 \text{ kV} = \underline{\underline{1,8 \text{ keV}}} = \underline{\underline{2,9 \cdot 10^{-16} \text{ J}}}$$

- 2.2 Ausgangspunkt ist auch hier wieder der Ansatz $W_{\text{el}} = W_{\text{kin}}$, wobei die Spannung, mit der die Ionen des Ladungsbetrags $q = e$ beschleunigt werden, gleich der Potenzialdifferenz zwischen der rechten Platte des Plattenkondensators in B und dessen Mittelachse ist; weil der Potenzialverlauf im homogenen Feld des Kondensators räumlich linear ist, beträgt die Beschleunigungsspannung gerade die Hälfte von U_3 .



© **STARK Verlag**

www.stark-verlag.de
info@stark-verlag.de

Der Datenbestand der STARK Verlag GmbH
ist urheberrechtlich international geschützt.
Kein Teil dieser Daten darf ohne Zustimmung
des Rechteinhabers in irgendeiner Form
verwertet werden.

STARK