

# UNTERRICHTS-MATERIALIEN

## Physik

- A Mechanik
- B Optik
- C Thermodynamik
- D Elektrodynamik
- E Spezielle Relativitätstheorie
- F Grundlagen der Quantenphysik
- G Physik der Atomhülle
- H Physik des Atomkerns
- I Astrophysik
- P Tests und Klausuren
- S Vermischte Aufgaben
- T Bausteine der Physik
- U Ausgewählte Themen
- V Unterrichtselemente
- W Mündliche Abfragen
- X Mündliche Abiturprüfungen
- Y Facharbeit und Referate
- Z Lesebuch Physik



# UNTERRICHTS MATERIALIEN

Physik



F0404-000100

Wasserrutschen

Bewegungen auf der schiefen Ebene

Bungee im Kleinformat

Grundwissen Elektriz – ein Kaleidoskop

VORANSICHT

Titelbild: Thinkstock/istock

© 2017 Dr. Josef Raabe Verlags-GmbH

[www.raabe.de](http://www.raabe.de)

Das Werk und alle seine Bestandteile sind urheberrechtlich geschützt. Jede vollständige oder teilweise Verbreitung und Veröffentlichung durch den Abonnenten über den Unterrichtseinsatz hinaus bedarf der ausdrücklichen Genehmigung des Verlages.

## Vorschlag zur Einsortierung

### Register A: Mechanik

---

- Die Beiträge bitte im Registerblatt A unter A.3 Energie- und Impulserhaltungssatz einordnen.
  - A.3.20** Gerhard Deyke: *Goldene Regel der Mechanik am Beispiel der „schiefe Ebene“*
  - A.3.21** Wolfgang Vogg: *Bewegungen auf der schiefe Ebene*
  - A.3.22** Gerhard Deyke: *Wasserrutschen*
- Den Beitrag bitte im Registerblatt A unter A.4 Wurf einordnen.
  - A.4.15** Wolfgang Vogg: *Waagrechter und schiefer Wurf*
- Den Beitrag bitte im Registerblatt A unter A.6 Gravitation einordnen.
  - A.6.13** Gerhard Deyke: *Das sogenannte kreisförmig eingeschränkte Drei-Körper-Problem*
- Den Beitrag bitte im Registerblatt A unter A.7 Mechanische Schwingungen einordnen.
  - A.7.18** Peter Bunzel: *Bungee – Kleinformat*

### Register D: Elektrodynamik

---

- Die Beiträge bitte im Register D unter S.1 Elektrisches Feld einordnen.
  - D.1.45** Erwin Kunzsch: *Grundwissen Elektrik – ein Kaleidoskop*
  - D.1.46** Gerhard Deyke: *Kondensatorschaltung*
  - D.1.47** Erwin Kunzsch: *Elektronik – Grundlagen*

## Das sogenannte kreisförmig eingeschränkte Drei-Körper-Problem

Die Voraussage der Bahn eines Körpers im Gravitationsfeld zweier anderer Körper (das sogenannte Drei-Körper-Problem) erweist sich als sehr komplex und lässt sich im Allgemeinen nur mit sehr anspruchsvollen numerischen Verfahren näherungsweise behandeln. In der vorliegenden Aufgabe soll ein Zugang zum Problem unter sehr stark einschränkenden Voraussetzungen gesucht werden. Das sogenannte kreisförmig eingeschränkte Drei-Körper-Problem geht von folgenden Voraussetzungen aus:

- (I) Die Masse  $m$  des Körpers, dessen Bewegung studiert werden soll, ist sehr klein gegenüber den Massen  $m_1$  und  $m_2$  der beiden anderen Körper. Die kleine Masse  $m$  beeinflusst also die Bahn der beiden großen Massen nicht.
- (II) Die beiden massereichen Körper bewegen sich auf Kreisbahnen um ihren gemeinsamen Schwerpunkt.
- (III) Der massearme Körper bewegt sich in derselben Ebene, in der auch die Kreisbahnen der beiden anderen Körper liegen.

Der italienisch-französische Mathematiker und Astronom J. L. Lagrange hat 1772 zu dieser Bewegung mathematisch exakte Lösungen vorgelegt. Unter anderem hat er den Nachweis geführt, dass in der Ebene, in der die Bewegungen ablaufen, fünf Punkte  $L_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4, 5$ ) existieren, in denen der massearme Körper sich aufhalten kann, ebenfalls den gemeinsamen Schwerpunkt der massereichen Körper auf einer Kreisbahn umläuft und dieses mit einer Winkelgeschwindigkeit  $\omega$ , die allen drei Körpern gemeinsam ist. Diese Punkte werden Lagrange-Punkte genannt. An diesen Punkten tritt Kräftegleichgewicht auf, das jedoch statisch instabil ist. Zwei dieser fünf Punkte,  $L_1$  und  $L_2$ , sind einfach zu finden; sie liegen auf der Verbindungsgeraden  $g_{12}$  der beiden Massenmittelpunkte  $M_1$  und  $M_2$  der Massen  $m_1$  und  $m_2$  (siehe Abb. 1). Es ist plausibel, dass  $M_2$  zwischen  $L_1$  und  $L_2$  liegt.

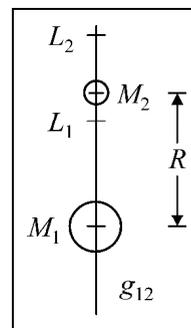


Abb. 1<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Abb. 1 dient nur einer groben Orientierung und erhebt keinen Anspruch auf einen korrekten Maßstab.

5,192  $AE$ . 1930 wurde in  $L_4$  der Trojaner Odysseus entdeckt mit einem Durchmesser von 125,6  $km$  und einem Bahnradius von 5,257  $AE$ . Im Jahr 1961 fand man 1982 den Trojaner Pandarus mit dem Durchmesser 98,1  $km$  und dem Bahnradius 5,172  $AE$ . Heute kennt man im Lagrange-Punkt  $L_4$  3035 und im Lagrange-Punkt  $L_5$  1734 Trojaner (Stand vom Dezember 2010). Man kennt keine Kleinplaneten in den Punkten  $L_1$ ,  $L_2$  und  $L_3$ . Die Trojaner-Gruppen von Jupiter zeigt Abb. 3.

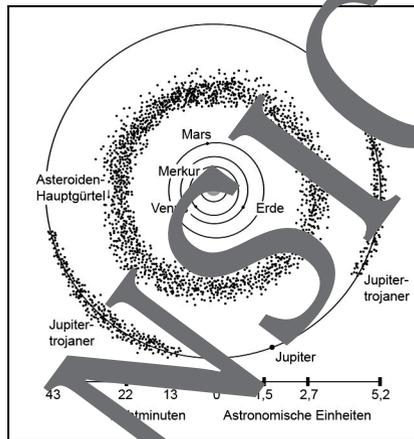


Abb. 3

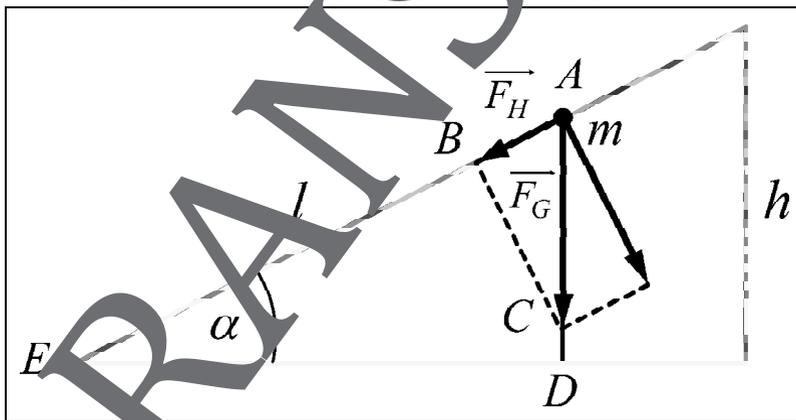
8. Die oben genannten Trojaner sind offensichtlich „Begleiter“ des Planeten Jupiter. Klären Sie, warum sie aber keine Monde von Jupiter sind.
9. Wir kennen heute auch von unseren anderen Planeten Asteroiden, welche sich in den Lagrange-Punkten  $L_4$  bzw.  $L_5$  aufhalten. Auch sie werden Trojaner genannt. 1990 entdeckte man den ersten Mars-Trojaner in  $L_5$ , dem man den Namen Eureka gab. Inzwischen kennt man acht weitere Mars-Trojaner. Ermitteln Sie die Umlaufdauer  $T$  von Eureka um die Sonne.  
Anmerkung: Auch die Erde hat einen Trojaner. Allerdings ist dieser künstlich. Es handelt sich um die zur Sonnenbeobachtung verwendete Raumsonde Soho. Sie befindet sich im  $1,5 \cdot 10^6$   $km$  von der Erde entfernten Punkt  $L_1$ .

### Goldene Regel der Mechanik am Beispiel „schiefe Ebene“

Die sogenannte Goldene Regel der Mechanik besagt bekanntlich, dass eine einfache Maschine die Arbeit erleichtert, aber nicht verringert. Was an Kraft eingespart wird, wird an Weg wieder kompensiert, sodass die Arbeit ohne einfache Maschine ebenso groß ist wie diejenige mit der einfachen Maschine.

Diese Regel soll nun am Beispiel der schiefen Ebene besprochen werden. Messungen haben den Nachteil, dass stets Messfehler auftreten. Im vorliegenden Fall kann die Regel jedoch sehr einfach mithilfe des Strahlensatzes bewiesen werden.

Wir denken uns eine schiefe Ebene der Länge  $l$  mit dem Neigungswinkel  $\alpha$  gegen die Horizontale. Auf ihr liege ein Massenpunkt der Masse  $m$  (siehe Abb. 1). Die Gewichtskraft  $\vec{F}_G$  dieses Massenpunktes liefert mit einer Komponente entlang der schiefen Ebene die sogenannte Hangabtriebskraft  $\vec{F}_H$ . (Die andere Komponente senkrecht zur Ebene, die Normalkomponente der Gewichtskraft, drückt den Massenpunkt auf die Unterlage.)



Soll der Massenpunkt entlang der schiefen Ebene der Gesamtlänge  $l$  nachgezogen werden, so ist gerade die Hangabtriebskraft mit einer Gegenkraft zu überwinden und die Arbeit ergibt sich als:

(1) 
$$W_1 = |\vec{F}_H| \cdot l$$

### Bewegungen auf der schiefen Ebene

Ein homogener Zylinder der Masse  $m_1 = 6 \text{ kg}$  und ein Klotz der Masse  $m_2 = 5 \text{ kg}$  sind durch ein Seil über eine Rolle miteinander verbunden (Abb. 1). Der Klotz wird zunächst festgehalten und kann sich nach dem Loslassen auf einer Strecke  $s = 3 \text{ m}$  bis zum Auftreffen auf eine Rampe beschleunigt bewegen. Der Gleitreibungskoeffizient zwischen Klotz und Unterlage  $\mu_G = 0,4$ , der Rollreibungskoeffizient zwischen Zylinder und Unterlage  $\mu_R = 0,03$  betragen.

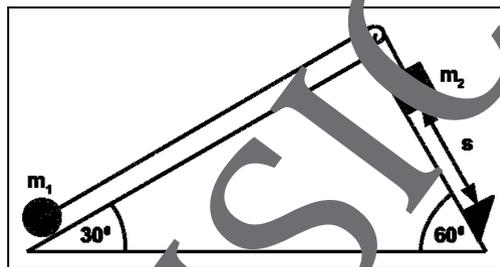


Abb. 1

- a) Mit welcher Beschleunigung setzt sich das System aus Zylinder und Klotz in Bewegung, sobald man den Klotz loslässt?
- b) Welche Zugkraft herrscht dann im Seil?
- c) Nach welcher Zeit prallt der Klotz auf die Rampe?
- d) Wie weit rollt der Zylinder nach dem Aufprall des Klotzes auf die Rampe noch auf der schiefen Ebene nach oben, bevor er umdreht und in das Seil zurückrollt?

Hinweis: Die Massen von Seil und Umlenkrolle sind ebenso zu vernachlässigen wie die Reibungskräfte und die Trägheitsmomente an der Umlenkrolle!

# UNTERRICHTS MATERIALIEN

Physik



## **Stabhochsprung – den Energiesatz anwenden**

Physikalische Analyse von Bewegungsabläufen

## **Bewegung von Doppelsternen**

Berechnung von Kräften und Größen

## **Aufgaben zum Planetensystem**

Rotationsgeschwindigkeit, Kepler'sche Gesetze

# VORANSICHT

Titelbild: [www.Pix.de](http://www.Pix.de)

© 2017 Dr. Josef Raabe Verlags-GmbH

[www.raabe.de](http://www.raabe.de)

Das Werk und alle seine Bestandteile sind urheberrechtlich geschützt. Jede vollständige oder teilweise Verbreitung und Veröffentlichung durch den Abonnenten über den Unterrichtseinsatz hinaus bedarf der ausdrücklichen Genehmigung des Verlages.

## Vorschlag zur Einsortierung

### Register A: Mechanik

---

- Die Beiträge bitte ins Registerblatt A unter A.3 Energie- und Impulserhaltungssatz einordnen.
  - A.3.23** Doris Walkowiak: *Stabhochsprung – den Energiesatz anwenden*
  - A.3.24** Doris Walkowiak: *Bungee-Jumping – Hookesches Gesetz und Energieerhaltung machen's möglich*
- Die Beiträge bitte ins Registerblatt A unter A.4 Würfe einordnen.
  - A.4.16** Doris Walkowiak: *Basketball – den schiefen Wurf analysieren*
  - A.4.17** Doris Walkowiak: *Hammerwerfen – Kreisbewegung und schiefer Wurf*
- Den Beitrag bitte ins Registerblatt A unter A.6 Gravitation einordnen.
  - A.6.14** Gerhard Deyke: *Bewegung von Doppelsternen*
- Die Beiträge bitte ins Registerblatt A unter A.11 Strömungslehre einordnen.
  - A.11.2** Doris Walkowiak: *Fußball – Tor!!! – Strömungsmechanik ausnutzen*
  - A.11.3** Doris Walkowiak: *Segeln – mit dem Bernoulli-Effekt sogar gegen den Wind*
- Die Beiträge bitte ins Registerblatt A unter A.12 Kräfte einordnen.
  - A.12.10** Doris Walkowiak: *Weg-Zeit-Gesetze, Druck, Gesetz von Bernoulli*
  - A.12.11** Doris Walkowiak: *Motorradrennen – Drehbewegungen untersuchen*

### Register I: Astrophysik

---

- Die Beiträge bitte im Register I unter I. 2 Astrophysik einordnen.
  - I.2.16** Wolfgang Tews: *Gravitationsgesetz und Solarkonstante*
  - I.2.17** Wolfgang Tews: *Aufgaben zum Planetensystem*
- Den Beitrag bitte im Register I unter I. 3 Die Sonne einordnen.
  - I. 3.2** Wolfgang Tews: *Der schematische Aufbau der Sonne*

**Schülerversuch** ⌚ **Vorbereitung: 10 min Durchführung: 30 min****Material**

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Plastiklineal (30 cm)      | <input type="checkbox"/> Büroklammer                     |
| <input type="checkbox"/> Lineal zum Messen der Höhe |  |
| <input type="checkbox"/> 2 Massestücke (je 100 g)   | <input type="checkbox"/> 2 Auflagekörper (ca. 3 cm Höhe) |

**Aufgaben**

1. Ermitteln Sie die Durchbiegung Ihres Lineals, die der Flexnummer entspricht.
2. Untersuchen Sie den Zusammenhang zwischen der Elastizität von Linealen und der Wurfhöhe bei „Schnipsversuchen“.

**Versuchsaufbau**

Abb. 1

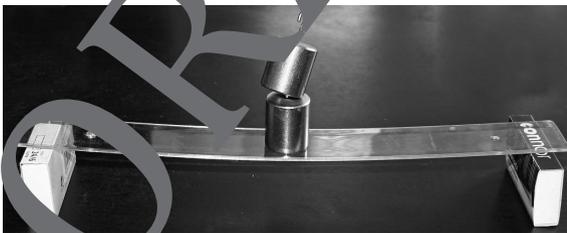


Abb. 2

### Versuchsdurchführung

Stellen Sie die Abhängigkeiten jeweils grafisch dar und vergleichen Sie diese mit den zu erwartenden Ergebnissen.

1. Legen Sie das 30-cm-Lineal rechts und links auf den Körper auf und belasten Sie es in der Mitte mit den 200 g. Messen Sie die Höhe vor und nach der Belastung.

vorher:  $h_{\text{vorher}} = \underline{\hspace{2cm}}$  cm

nachher:  $h_{\text{nachher}} = \underline{\hspace{2cm}}$  cm

2. Berechnen Sie die Durchbiegung (Flexion).

$\Delta h = \underline{\hspace{2cm}}$  mm

3. Setzen Sie das Lineal so auf einen der Körper auf, dass es auf einer Seite 20 cm übersteht, und halten Sie das auf dem Körper aufliegende Ende fest. Legen Sie die Büroklammer auf das andere Ende, biegen Sie das Lineal bis zur Tischoberfläche herunter und schneipen Sie dann die Klammer nach oben. Wiederholen Sie das Experiment mehrmals und bestimmen Sie den Mittelwert der erreichten Höhe.

$h_{\text{Schnips}} = \underline{\hspace{2cm}}$  cm

4. Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit denen Ihrer Mitschülerinnen und Mitschüler. Formulieren Sie das Resultat in Ihrem Heft.

5. **Aufgabe** Experten

Wiederholen Sie das Experiment mit anderen Materialien (dünnes Holz, Metall).

## Bungee-Jumping – Hookesches Gesetz und Energieerhaltung machen's möglich

Mutprobe oder Wahnsinn? Da scheiden sich die Geister. Die einen sehen den Adrenalin-Kick, die anderen die Gefahren.

Die Ursprünge des Bungee-Springens gehen auf die Lianenspringer von Pentecôte zurück. Diese stürzen sich, nur von Lianen gesichert, von bis zu 30 m hohen Holzkonstruktionen hinunter. Nachdem das Bungee 1953 erstmals filmisch dokumentiert wurde, fanden in den 70ern erste Sprünge an einem Gummiseil von der Clifton Bridge in Bristol statt. Heute erfreut sich Bungee-Jumping wachsender Beliebtheit.

Kritiker sehen neben möglichen technischen Gefahren (Bruch des Seils, falsche Längenberechnung, unkontrolliertes Zurückfedern, ...) auch gesundheitliche Risiken (Beeinträchtigungen des Bewegungsapparates, Organschäden).

Wie kommt es zu diesen hohen Belastungen und wie kann die Physik dazu beitragen, den Sprung sicherer zu machen?



Foto: Pixelio

Abb. 1. Adrenalin-Kick,  
trotz Gefahren

## Bewegung von Doppelsternen

Wir reden hier von *physischen* Doppelsternen, also solchen Doppelsternen, die durch gravitative Kräfte aneinander gebunden sind, im Gegensatz zu *optischen* Doppelsternen, welche zufällig am Himmel neben- oder hintereinander stehen. Nach heutigem Wissen sind etwa 60 bis 70 % aller Sterne unserer Galaxie Doppelsterne oder Teile von noch größeren Sternsystemen.

Beide Komponenten eines Doppelstern-Systems „drehen“ sich um einen gemeinsamen Punkt  $S$ . Dieser Punkt muss in jedem Moment auf der Verbindungsstrecke der beiden Positionen der Komponenten liegen, da sich diese gegenseitig durch Gravitationskräfte anziehen. (Die entsprechenden Kraftvektoren müssen komplanar sein.)

Es gibt zwei Typen von Bahnen für die Komponenten:

Entweder laufen die beiden Sterne des Systems auf Kreisen mit dem gemeinsamen Mittelpunkt  $S$  (Typ I, siehe Abb. 1) oder sie bewegen sich auf Ellipsen, bei denen  $S$  jeweils in einem ihrer Brennpunkte liegt (Typ II, siehe Abb. 2). Bei Typ I haben beide Sternkomponenten aus oben schon genannten Gründen dieselbe Umlaufdauer  $T$ .

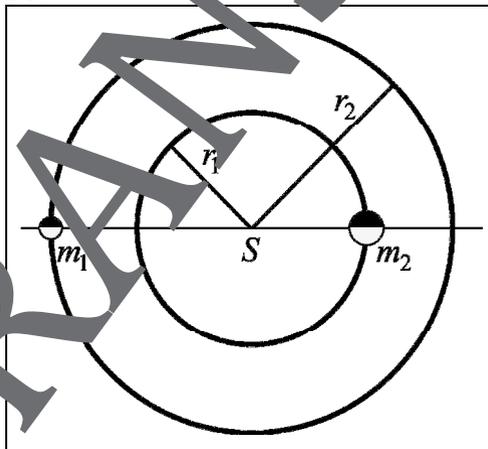


Abb. 1

Typ I:  $m_1$  und  $m_2$  sind die Massen der beiden Sternkomponenten,  $r_1$  und  $r_2$  die Radien ihrer Kreisbahnen um den Punkt  $S$ . Der gegenseitige Abstand der beiden Komponenten ist  $r = r_1 + r_2$ .

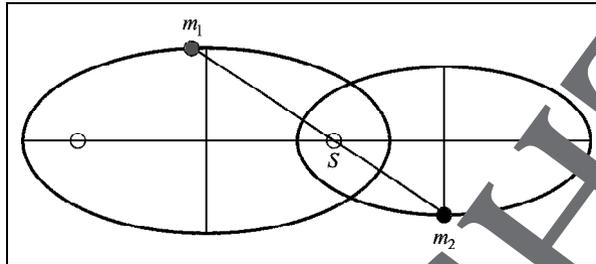


Abb. 2

Typ II:  $m_1$  und  $m_2$  sind wieder die Massen der beiden Sternkomponenten,  $S$  ist ein gemeinsamer Brennpunkt der beiden elliptischen Bahnen.

Ein Beispiel für einen Doppelstern vom Typ II ist *Capella*, der nächste Nachbar der Sonne. *Sirius* ist ein Doppelstern vom Typ I, er ist der hellste Stern des Himmels.

In der nachfolgenden Aufgabe werden nur Doppelsterne vom Typ I betrachtet. Der Schwerpunkt eines Systems von zwei Massenpunkten)  $m_1$  und  $m_2$ :

Sind  $\vec{r}_1$  und  $\vec{r}_2$  die Ortsvektoren der Positionen der beiden Massen, so erfüllt bekanntlich ihr Schwerpunkt  $S$  die Bewegung:

$$m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 = 0, \text{ sofern } S \text{ im Ursprung des Koordinatensystems liegt.}$$

Es ergibt sich sofort:

$$m_1 \vec{r}_1 = -m_2 \vec{r}_2 \quad \text{bzw.} \quad r_1 = \frac{m_2}{m_1} r_2$$

Nimmt man auf beiden Seiten der letzten Gleichung den Betrag, so erhält man:

$$(i) \quad r_1 = \frac{m_2}{m_1} r_2$$

1. Zeigen Sie nach, dass Gleichung (i) für Doppelsterne des Typs I erfüllt ist. Sie kreisen also um ihren Schwerpunkt  $S$ .

Hinweis: verwenden Sie in Ihrer Überlegung die Tatsache, dass die Radialkraft für die Kreisbahn der einen Sternkomponente von der Gravitationskraft der anderen Komponente geliefert wird.



Abb. 3: das sog. Wintersech

Berechnen Sie die Gesamtmasse des Doppelsterns (mit den Komponenten Aa und Ab) in den Einheiten  $kg$  und auch als Vielfaches der Sonnenmasse  $M_{So}$ .

4. Sie werden bemerkt haben, dass zwar die Gesamtmasse eines Doppelsternes (immer vom Typ I) aus der Kenntnis von  $r$  und  $T$  berechenbar ist, nicht jedoch die Einzelmasse der Komponenten. Daher wenden wir uns jetzt der Frage zu, welche weiteren Informationen benötigt werden, um auch  $m_1$  und  $m_2$  genannt zu bekommen. Die Antwort ergibt sich aus den folgenden Teilaufgaben.

wenden Sie sich nun zu einem beliebigen Doppelstern des Typs I. Da seine Komponenten einen Punkt  $S$  umkreisen, verhält es sich so, als wenn sich in  $S$  eine ortsfixe virtuelle Masse  $M$  aufhielte. Für die erste Sternkomponente gilt: