

Anke Verena Gradwohl

Physikalische Freihandexperimente zur Punktmechanik

Diplomarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades einer
Magistra
an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der
Karl – Franzens – Universität Graz

Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gernot Pottlacher
Technische Universität Graz
Institut für Experimentalphysik

November 2005

Vorwort

Die Idee zu dieser Diplomarbeit stammt von Herrn Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gernot Pottlacher, der im Zuge seiner seit 15 Jahren laufenden Lehrveranstaltung „Schulversuche“ Unmengen an Material gesammelt hat. Aufgabe jeder/ jedes StudentIn in dieser Vorlesung ist es, zwei bis vier Freihandversuche pro Semester vorzuführen.

Diese müssen schriftlich abgegeben und vorgeführt werden. Die Vorführungen werden dann von Herrn Prof. Pottlacher gefilmt und das ganze Material archiviert.

Als ich diese Vorlesung besuchte, fand es Herr Prof. Pottlacher an der Zeit, dieses Material aufzuarbeiten und bot dies als Diplomarbeitsthema an. Da ich auf der Suche nach einer Fachdidaktischen Arbeit war, nahm ich das Angebot dankend an.

Folgende Ziele wurden für die Diplomarbeit festgelegt:

- Das gesammelte Material aufarbeiten und daraus etwa 50 Versuche auswählen.
- Mit Hilfe von Videofilmen die wesentlichen Erkenntnisse verdeutlichen.
- Die Versuche so zu beschreiben, dass sie auch für SchülerInnen und Nicht-PhysikerInnen nachvollziehbar und verständlich sind.

Diese Diplomarbeit basiert fast ausschließlich auf diesen gesammelten Unterlagen von StudentenInnen, deshalb sind Überschneidungen mit bereits vorhandenen Büchern und Arbeiten durchaus möglich. Die Unterlagen wurden von den StudentenInnen nicht zitiert und viele vermutlich aus vorhandener Literatur entnommen.

Das Hauptaugenmerk meiner Diplomarbeit liegt jedoch in der visuellen Aufarbeitung, sämtliche Versuche wurden von mir gefilmt und bearbeitet.

Als Versuchsdarsteller habe ich bewusst, bis auf einige wenige Ausnahmen, SchülerInnen im Alter von 12 bis 16 Jahren gewählt, um deutlich zu machen, dass diese Versuche wirklich schülerorientiert verwendet werden können.

Dass mein Schauspielerteam hauptsächlich aus Mädchen besteht, soll ein weiteres noch immer kursierendes Vorurteil – Mädchen finden Physik nicht interessant – aus der Welt schaffen. **Alle** waren stets mit Begeisterung dabei!

Sämtliche Abbildungen habe ich selbst gezeichnet oder dem Filmmaterial entnommen. Sie beziehen sich immer, wenn nicht anders verwiesen, auf nebenstehende Versuchsbeschreibungen.

Der Hauptgrund für meine Entscheidung, diese Diplomarbeit zu verfassen, liegt aber darin, dass ich es für notwendig halte Versuche, vor allem die hier beschriebenen Schülerversuche, in den Unterricht einzubinden.

Diese Diplomarbeit soll LehrerInnen als Anregung dienen und das Interesse der SchülerInnen an der Physik wecken.

Viel Spaß beim Ausprobieren!!

INHALT

| | |
|---|-----------|
| 1. FACHDIDAKTISCHES | 4 |
| 1.1 WAS IST EIN FREIHANDVERSUCH?..... | 4 |
| 1.1.1 KLASSISCHE FREIHANDEXPERIMENTE | 5 |
| 1.1.2 SEKUNDEN – EXPERIMENTE | 5 |
| 1.1.3 LOW-COST-EXPERIMENTE | 5 |
| 1.2 FACHDIDAKTISCHE BEDEUTUNG DES FREIHANDVERSUCHS.. | 6 |
| 1.3 FORDERUNGEN DES LEHRPLANS | 7 |
| 1.3.1 FORDERUNGEN DES LEHRPLANS DER AHS-UNTERSTUFE | 7 |
| 1.3.2 FORDERUNG DES LEHRPLANS DER AHS-OBERSTUFE..... | 8 |
| 2. MECHANIK DER MASSENUNKTE..... | 9 |
| 2.1 EINFACHE BEWEGUNGEN, PUNKTKINEMATIK..... | 9 |
| <i>Welche Bahn ist die schnellste – die Brachistochronenbahn.....</i> | <i>9</i> |
| 2.1.1 FREIER FALL | 13 |
| <i>Freier Fall: Münze im Windschatten</i> | <i>13</i> |
| <i>Freier Fall: Kartonkarten</i> | <i>15</i> |
| <i>Freier Fall: Papier – Radiergummi</i> | <i>16</i> |
| <i>Messung der menschlichen Reaktionszeit</i> | <i>17</i> |
| 2.1.2 ÜBERLAGERUNG GERADLINIGER BEWEGUNGEN | 19 |
| <i>Vergleich: Waagrechter Wurf – Lotrechte Fallbewegung.....</i> | <i>19</i> |
| <i>Vergleich: Waagrechter Wurf – Waagrechte gleichförmige Bewegung.....</i> | <i>21</i> |
| 2.2 KRAFT-MASSE | 22 |
| 2.2.1 KRAFT – MASSE..... | 22 |
| <i>„actio = reactio“ Seilziehen auf Rollschuhen</i> | <i>22</i> |
| <i>Papier zerreißen.....</i> | <i>23</i> |

| | |
|--|-----------|
| 2.2.2 REIBUNG | 24 |
| <i>Einfacher SchülerInnenversuch zur Reibung</i> | 24 |
| <i>Zauberei mit Karten</i> | 25 |
| <i>SchülerInnenversuch zur Haft- und Gleitreibung</i> | 26 |
| <i>Streichholzkeile</i> | 27 |
| <i>Das rohe Ei</i> | 28 |
| 2.2.3 GRAVITATIONS-KRAFT | 29 |
| <i>Der fliegende Tischtennisball</i> | 29 |
| <i>Schwereelosigkeit</i> | 30 |
| <i>Das Loch in der Flasche</i> | 31 |
| 2.2.4 TRÄGHEITSKRÄFTE | 32 |
| 2.2.4.1 IN GERADLINIG BESCHLEUNIGTEN SYSTEMEN | 32 |
| <i>Träges Wasser</i> | 32 |
| <i>Vollbremsung</i> | 33 |
| <i>Der träge Turm</i> | 34 |
| <i>Die träge Münze</i> | 35 |
| <i>Die träge Orange</i> | 36 |
| <i>Der Schnitt durch die Kartoffel</i> | 37 |
| 2.2.4.2 IN DREHENDEN SYSTEMEN | 38 |
| <i>Gewichte heben durch Rotation</i> | 38 |
| <i>Zentripetalkraft – Zentrifugalkraft</i> | 40 |
| <i>Wie verlässt die Kugel eine Kreisbahn?</i> | 41 |
| <i>Eimerschleudern</i> | 42 |
| <i>Albert Einsteins Experiment</i> | 43 |
| <i>Papiersäge</i> | 44 |
| <i>Die Coriolis – Kraft</i> | 45 |
| <i>Kräfte bei der Drehbewegung</i> | 46 |
| 2.3 ARBEIT - ENERGIE | 47 |
| <i>Flaschenzug mit Besenstielen</i> | 48 |
| <i>Flaschenzug</i> | 50 |
| <i>Wirkung der schiefen Ebene</i> | 51 |
| <i>Das JOJO</i> | 52 |
| <i>Potentialtopf</i> | 55 |
| <i>Der Kugeltanz</i> | 56 |
| <i>Das Münzenkatapult</i> | 57 |
| <i>Streichholzschachtel und Schlüsselbund</i> | 58 |
| <i>Die zurückkommende Dose</i> | 59 |
| <i>Erhaltung der Energie anhand eines Fadenpendels</i> | 60 |

| | |
|---|-----------|
| 2.4 KRAFTSTOß – IMPULS | 61 |
| <i>Impulsübertragung</i> | 62 |
| <i>Rückstoß mit dem Föhn</i> | 63 |
| <i>Impulserhaltung</i> | 64 |
| <i>Die Kartoffelschleuder</i> | 65 |
| <i>Die Ballon-Rakete</i> | 66 |
| <i>Die Dose als Dampfturbine</i> | 67 |
| <i>Die Streichholzrakete</i> | 69 |
| | |
| 2.5 STOBVORGÄNGE – ANWENDUNG VON ENERGIE- UND IMPULSSATZ | 70 |
| <i>Der elastische Stoß</i> | 71 |
| <i>Hupfbälle</i> | 74 |
| | |
| BIOGRAPHIE | 75 |
| | |
| LITERATURVERZEICHNIS | 75 |
| | |
| NACHWORT | 76 |
| | |
| EIN HERZLICHES DANKE... | 77 |

1. Fachdidaktisches

Moderne Geräte wie Mobiltelefon, MP3-Player und Co begleiten uns auf Schritt und Tritt, ohne dass sich jemand Gedanken darüber macht, welche Technik dahinter stecken könnte. Ein Grund dafür ist sicher die Komplexität sowie die Undurchschaubarkeit des technischen Aufbaus. Mit Hilfe des Freihandversuchs ist es jedoch möglich, grundlegende physikalische Vorgänge mit einfachen Mitteln darzustellen und dadurch das Interesse an Physik zu wecken.

1.1 Was ist ein Freihandversuch?

Der Begriff Freihandversuch bzw. Freihandexperiment ist relativ jung. Erst durch Verwendung aufwändiger Apparaturen, um physikalische Dinge zu demonstrieren, erlangte der bis dato übliche Versuch zur Demonstration physikalischer Sachverhalte einen eigenen Stellenwert. Entsprechend dem Fortschritt wurde natürlich versucht, einfache Vorgänge mittels aufwändiger Apparatur zu zeigen.

Einer der ersten, der den Freihandversuch öffentlich erwähnte, war H. HAHN [1]. Er stellte im September 1905 auf der 77. Versammlung deutscher Naturforscher sein Buch „Physikalische Freihandversuche“ vor und definierte den Freihandversuch folgendermaßen:

Bei der Lösung meiner Aufgabe war es notwendig, die Freihandversuche gegen die eigentlichen Schülerversuche, die Schülerübungen und die Spiele abzugrenzen. Aufgenommen wurden neben den Versuchen mit den Gegenständen des täglichen Gebrauchs auch Versuche mit einfachen Vorrichtungen, die jeder Lehrer selbst herstellen kann, wenn er die Werkzeuge besitzt, die ein gut ausgestatteter Nagelkasten, wie er in jedem Haushalt vorhanden ist, zu enthalten pflegt.

Nach W. HEYDER [2] lautet die etwas modernere Version der Definition:

Der Freihandversuch ist ein physikalischer Schul- oder Hausversuch, der im Wesentlichen qualitativer Natur ist und durch die Einfachheit der experimentellen Mittel innerhalb und außerhalb des Unterrichtsprozesses leicht ausführbar und jederzeit einsatzfähig ist. Zu seiner Durchführung werden Gegenstände des täglichen Bedarfs und Geräte aus dem Haushalt verwendet. Daneben können auch Lehrmittel einfachster Art eingesetzt werden.

Aus einer stark schulischen Sicht beschreibt B. KORN [3] den Freihandversuch so:

Der Freihandversuch ist ein weitgehend qualitatives physikalisches Lehrer-Schüler-, oder Hausexperiment, das im Wesentlichen mit Gegenständen des täglichen Bedarfs und mit einfachen Lehrmitteln jederzeit eingesetzt werden kann.

Freihandversuchen kann man folgende Eigenschaften zuordnen:

- Verwendung von Gegenständen des täglichen Lebens
- Quantitative Aussage physikalischer Gesetze
- Durchführung des Experimentes nach geringer Vorbereitungszeit
- Versuchsaufbauten aus wenigen Teilen

Freihandversuche können weiter differenziert werden. Man unterscheidet zwischen

- Klassischen Freihandexperimenten
- Sekunden – Experimenten
- Low – Cost – Experimenten

1.1.1 Klassische Freihandexperimente

Man verwendet hauptsächlich Gegenstände des täglichen Gebrauchs. Auf teure, schwer erhältliche Gerätschaften wird vollends verzichtet.

Ein klassisches Beispiel dafür wäre die Darstellung der Reibungskraft mit Hilfe zweier Bürsten.

1.1.2 Sekunden – Experimente

Wie der Name bereits verrät, zeichnen sich diese durch geringe Vorbereitungszeit aus. Zur Durchführung verwendet man meist Geräte, die in ihrer Anschaffung zwar teuer waren, wenn sie einem jedoch zur Verfügung stehen, in kurzer Zeit tolle Experimente liefern. Als Beispiel wären hier Experimente aus der Optik mit einem Laser und einem Strichgitter zu erwähnen.

1.1.3 Low-Cost-Experimente

Zur Durchführung dieser Versuche verwendet man hauptsächlich alltägliche Dinge, die man jederzeit zur Hand hat und die nicht extra gekauft werden müssen. Fallversuche mit Papier und Münze oder Radiergummi wären hier typische Beispiele.

1.2 Fachdidaktische Bedeutung des Freihandversuchs

Jeder Lehrer sollte sich über drei Fragen bei der Planung des Physikunterrichts Gedanken machen:

- **Warum** Freihandversuche?
- **Wann** setze ich Freihandversuche ein?
- **Welche** Freihandversuche bieten sich an?

Freihandversuche können den Unterricht beleben; werden jedoch nur Freihandversuche gezeigt, verlieren auch diese ihren Reiz. Auf die richtige Mischung muss geachtet werden. Freihandversuche eignen sich besonders gut als Schülerversuche, da sie meist einfach durchführbar sind und gute Resultate bringen. Schüler werden motiviert, der Physik selbst auf den Grund zu gehen, was wiederum den Unterrichtsertrag fördert.

Jede/jeder LehrerIn muss für sich entscheiden, wann sie/er einen Freihandversuch durchführt. Mögliche Einsätze wären:

- **Exemplarischer Einstieg**

Beginnt ein neues Kapitel, bewähren sich vor allem Versuche, die einen gewissen Überraschungseffekt haben. Die Neugierde der Schüler soll geweckt werden und der zu erklärende Lerninhalt sollte klar zu erkennen sein.

- **Versuch zur Bestätigung des Erlernten**

Wurde ein Thema bereits behandelt und erarbeitet, dient der Freihandversuch oft dazu, eine Verbindung zwischen Theorie und Experiment zu schaffen. Der oft unvorhersagbare Ausgang kann zu einer kritischen Hinterfragung führen. Weiters kann man das Verständnis fördern und so genannte „AHA-Effekte“ erzielen.

- **Schülerexperiment**

Freihandexperimente bieten sich vor allem für alternative Unterrichtsformen blendend an. So kann man zum Beispiel eine Station eines Lernzirkels gestalten oder Einzel-, Partner- oder Gruppenarbeiten machen. „Selbst Erarbeitetes bleibt besser hängen!“ lautet hierbei die Devise. Dabei könnten Schüler auch auf ähnliche Vorgänge in ihrer Umgebung aufmerksam werden.

- **Referat**

Themen, die im Unterricht nur wenig bzw. keinen Platz finden, kommen oft in Form von Referaten und Präsentationen vor. Auch hier wären Freihandversuche eine abwechslungsreiche Alternative.

- **Prüfung**

Häufige Prüfungs- oder Testfragen beziehen sich oft auf Experimente, die vom Lehrer nur ein einziges Mal aufgebaut und vorgeführt wurden. Die Aufgabe der Schüler ist es dann, sich an diese Experimente zu erinnern. Dies ist aber oft schwierig. Arbeitet man jedoch mit Freihandversuchen, ist es kein Problem, solche beim Test nochmals zu wiederholen bzw. die Schüler diese selbst vorführen und erklären zu lassen.

Die/der LehrerIn soll sich Gedanken machen, welche Experimente gezeigt werden. Es bleibt ihr/ihm überlassen, ob es ein Schüler- oder Lehrerversuch ist und welchen Zweck sie/er damit erfüllen möchte. Wichtig ist nur, wie bereits oben erwähnt, dass die Mischung stimmt.

1.3 Forderungen des Lehrplans

1.3.1 Forderungen des Lehrplans der AHS-Unterstufe

- Der Unterricht hat das Ziel, den Schülerinnen und Schülern das Modelldenken der Physik zu vermitteln und physikalisches Wissen in größere Zusammenhänge zu stellen. Das geschieht durch:
 - ...
 - Bewusstes Beobachten physikalischer Vorgänge
 - Verstehen und altersgemäßes Anwenden von typischen Denk- und Arbeitsweisen der Physik
 - Eigenständige und handlungsorientierte Auseinandersetzung mit Problemen aus dem Erfahrungsbereich der Schülerinnen und Schüler nach Möglichkeit ausgehend von Schülerexperimenten
 - ...
- Kreativität und Gestaltung
 - Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten
- Didaktische Grundsätze:
 - ...An geeigneten Inhalten ist den Schülerinnen und Schülern Gelegenheit zu möglichst selbstständigem Untersuchen, Entdecken bzw. Forschen zu geben. Dies bedingt den Einsatz von Schülerversuchen. ...¹

¹ Quelle: <http://www.bmbwk.gv.at/medienpool/791/ahs16.pdf>

1.3.2 Forderung des Lehrplans der AHS-Oberstufe

- Bildungs- und Lehraufgabe:
- ...insbesondere der Befähigung zum selbständigen Wissenserwerb, dem verantwortungsbewussten Umgang mit der Umwelt...
- Weiters sollen sie die Bedeutung physikalischer Phänomene und Konzepte im Alltag und in der Umwelt und für die Welterkenntnis erfassen und für ihre Lebensgestaltung nutzen.

Ziel des Physikunterrichts ist daher die Vermittlung des nötigen Rüstzeuges zum verstehenden Erleben von Vorgängen in Natur und Technik und keinesfalls nur das Informieren über sämtliche Teilgebiete der Physik.

Das Ziel ist der Erwerb folgender Fähigkeiten, Fertigkeiten und Werthaltungen:

- Fähigkeit, eigenständig arbeiten zu können....
- Fähigkeit, einfache Experimente planen und durchführen zu können
- Fähigkeit, Gefahren zu erkennen, einzuschätzen und sicherheitsbewusst handeln zu können
- Fähigkeit, fachbezogene Fragen formulieren zu können²

² Quelle: http://www.bmbwk.gv.at/medienpool/11862/lp_neu_ahs_10.pdf

2. Mechanik der Massenpunkte

Der einfachste Teil der Mechanik behandelt Fälle, in denen man von der Ausdehnung der Körper absieht und diese als mit Masse behaftete Punkte – Massenpunkte – betrachtet.

In den folgenden Kapiteln wird hauptsächlich die Punktmechanik beschrieben, die aber logisch einwandfrei in die Mechanik des starren Körpers und die der deformierbaren Körper entwickelt werden kann.

2.1 Einfache Bewegungen, Punktkinematik

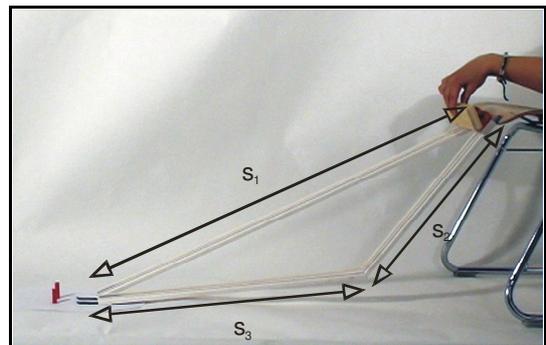
Für die Beschreibung einer Bewegung ist zunächst ein Bezugssystem festzulegen. Da bisher noch kein absolut ruhendes System gefunden wurde, definiert man ersatzweise ein solches häufig durch den Fixsternhimmel. Die physikalischen Gesetze lauten für alle unbeschleunigten Bezugssysteme gleich.

Die Masse eines Körpers denken wir uns im Massenmittelpunkt vereinigt und betrachten im Nachstehenden nur die fortschreitende Bewegung dieses Punktes, die so genannte Translation, und lassen die Drehung (Rotation) um den Massenmittelpunkt außer Acht.

Welche Bahn ist die schnellste – die Brachistochronenbahn

Material

- ✓ Plastikschiene einer Spielzeugautobahn, Abdeckleiste eines Kabelschachtes (Länge ca. 2 m)
- ✓ 2 gleiche Kugeln
- ✓ stabiles Klebeband
- ✓ evtl. 2 Kreidestücke



Durchführung

Abb. 2.1. 1

Zuerst werden von der Abdeckleiste zwei Stücke der Länge 93 cm (s_1) und 100 cm ($s_2 + s_3$) abgeschnitten. Zwei Enden werden mit einem Klebeband bündig miteinander verbunden. Das längere Stück wird zu einer Kurve verbogen, bei Verwendung eines Kabelschachtes empfiehlt es sich, die Seitenkanten ($s_2 = 42$ cm; $s_3 = 58$ cm) einzuschneiden. Die Enden werden wiederum bündig verklebt. Die Anordnung sollte nun so gehalten werden, dass das gerade, kürzere Stück einen Winkel von ca. 30° mit der Unterlage einschließt. (Abb. 2.1. 1) Am Ende der beiden Bahnen können zwei Stück Kreide aufgestellt werden. Die beiden Kugeln lässt man gleichzeitig losrollen.

Versuch wiederholen und Kugeln vertauschen.

Beobachtung

Die Kugel, welche die gekrümmte Bahn runterrollt, erreicht immer als erste das Ziel.

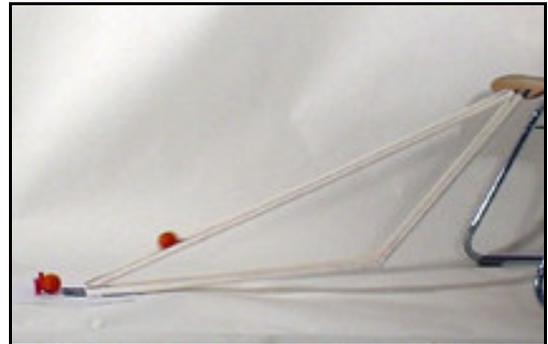


Abb. 2.1. 2

Physikalischer Hintergrund

Um die Bewegung eines Massenpunktes auf beliebigen krummlinigen Bahnen und die Frage nach der schnellsten, der Brachistochrone, zu beschreiben, erfordert es die Verwendung anspruchsvoller Mathematik aus dem Bereich der theoretischen Mechanik. Hier soll lediglich gezeigt werden, dass es zumindest eine Bahn gibt, auf der die Kugel schneller ihr Ziel erreicht als auf dem kürzesten Weg – der geradlinigen Verbindung zwischen zwei Punkten.

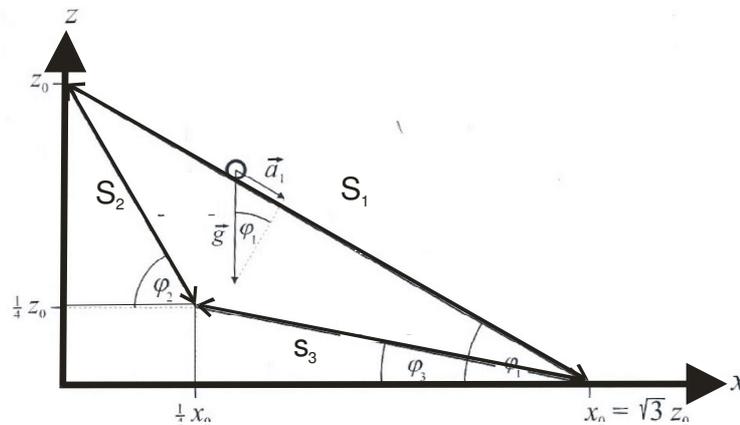


Abb. 2.1. 3

Bei der Berechnung betrachtet man reibungsfrei gleitende Massenpunkte. Die rollenden Kugeln erfüllen näherungsweise diese Bedingung.

Betrachtet man den Vorgang im Koordinatensystem (siehe Abb. 2.1. 3), dann starten beide Kugeln im Punkt $(0, z_0)$ und erreichen ihr Ziel im Punkt $(x_0, 0)$.

Die Kugel auf Bahn 1 erreicht das Ziel auf dem direkten Weg, während die Kugel auf Bahn 2 über den Punkt $\left(\frac{1}{4}x_0, \frac{1}{4}z_0\right)$ zum Ziel rollt.

Sei nun $x_0 = \sqrt{3} \cdot z_0$,

dann erhält man für die drei Teilstrecken nach dem Lehrsatz von Pythagoras:

$$s_1 = \sqrt{x_0^2 + z_0^2} = \sqrt{(\sqrt{3}z_0)^2 + z_0^2} = 2 \cdot z_0 \quad (2.1.1)$$

$$s_2 = \sqrt{\left(\frac{1}{4}x_0\right)^2 + \left(\frac{3}{4}z_0\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}}{4}z_0\right)^2 + \left(\frac{3}{4}z_0\right)^2} = \sqrt{\frac{12z_0^2}{16}} = \frac{1}{2}\sqrt{3}z_0 \quad (2.1.2)$$

$$\begin{aligned} s_3 &= \sqrt{\left(\frac{3}{4}x_0\right)^2 + \left(\frac{1}{4}z_0\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{3\sqrt{3}}{4}z_0\right)^2 + \left(\frac{1}{4}z_0\right)^2} = \\ &= \sqrt{\frac{28}{16}z_0^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7}{16}z_0^2} = \frac{1}{2}\sqrt{7}z_0 \end{aligned} \quad (2.1.3)$$

also

$$s_1 = 2 \cdot z_0,$$

$$s_2 = \frac{1}{2}\sqrt{3} \cdot z_0,$$

$$s_3 = \frac{1}{2}\sqrt{7} \cdot z_0$$

Da sich die Kugeln auf einer schiefen Bahn (Ebene) bewegen, muss man beachten, dass nicht die ganze Erdbeschleunigung wirkt, sondern nur die Projektion auf die Bahn. (siehe Abb. 2.1.3)

Den Projektionsvektor \bar{a} erhält man aus folgender Beziehung:

$$\sin \varphi_1 = \frac{\bar{a}}{\bar{g}} \Rightarrow \bar{a} = \bar{g} \cdot \sin \varphi_1 \quad (2.1.4)$$

Das heißt, dass anstatt der Erdbeschleunigung \bar{g} nur noch der verminderte Betrag $g \cdot \sin \varphi_i$ für $i = 1, 2, 3$ wirkt und dieser eingesetzt werden muss.

Bahn 1:

$$s_1 = \frac{1}{2}t^2 g \cdot \sin \varphi_1 \quad (2.1.5)$$

Für die Zeit t_1 , die ein Massenpunkt zum Durchlaufen der Strecke s_1 braucht, gilt dann:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2s_1}{g \sin \varphi_1}} = \sqrt{\frac{4z_0}{g \sin 30}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4z_0}{g}} = 2\sqrt{2} \sqrt{\frac{z_0}{g}} \approx 2,38 \sqrt{\frac{z_0}{g}} \quad (2.1.6)$$

Bahn 2:

Für die Strecke s_2 gilt analog zur Bahn 1 für die Zeit t_2

$$t_2 = \sqrt{\frac{2s_2}{g \sin \varphi_2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \frac{1}{2}\sqrt{3}z_0}{g \cdot \frac{1}{2}\sqrt{3}}} = \sqrt{2} \sqrt{\frac{z_0}{g}}, \quad \text{da } \sin \varphi_2 = \frac{3z_0}{4s_2} = \frac{1}{2}\sqrt{3} \quad (2.1.7)$$

Man geht dabei je von derselben Anfangsgeschwindigkeit $v_0 = 0$ aus.

Wechselt der Massenpunkt von Bahn s_2 auf Bahn s_3 , so besitzt die Kugel im Punkt $\left(\frac{1}{4}x_0, \frac{1}{4}z_0\right)$ bereits die Geschwindigkeit v_{23} . Diese erhält man durch die erste Ableitung des Weges nach der Zeit:

$$\dot{s} = \frac{ds}{dt} = v = \frac{2g \cdot t}{2} = g \cdot t \Rightarrow g \cdot \sin \varphi \cdot t \quad (2.1.8)$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow v_{23} \left(\frac{x_0}{4}, \frac{z_0}{4} \right) &= g \cdot \sin \varphi_2 \cdot t_2 = \\ &= g \cdot \frac{1}{2} \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \sqrt{\frac{z_0}{g}} = \frac{g}{2\sqrt{g}} \cdot \sqrt{6z_0} = \frac{1}{2} \sqrt{6gz_0} \end{aligned} \quad (2.1.9)$$

Nach Umformen der Gleichung

$$s_3 = v_{23}t_3 + \frac{1}{2} g \sin \varphi_3 t_3^2 \quad \text{mit} \quad \sin \varphi_3 = \frac{z_0}{4s_3} = \frac{1}{14} \sqrt{7}, \quad (2.1.10)$$

erhält man die quadratische Gleichung für die Zeit t_3

$$0 = \frac{\sqrt{7}}{28} g t^2 + \frac{1}{2} \sqrt{6gz_0} t - \frac{\sqrt{7}z_0}{2}. \quad (2.1.11)$$

Durch Einsetzen in eine Löseformel (2.1.12) und Umformen des Wurzelausdruckes erhält man folgendes Ergebnis (2.1.13).

$${}_1t_2 = \frac{-\frac{1}{2} \sqrt{6gz_0} \pm \sqrt{\frac{1}{4} 6gz_0 + 4 \frac{\sqrt{7}}{28} g \frac{\sqrt{7}z_0}{2}}}{2 \frac{\sqrt{7}}{28} g} \quad (2.1.12)$$

$${}_1t_2 = \frac{-\frac{1}{2} \sqrt{6gz_0} \pm \frac{1}{2} \sqrt{8gz_0}}{\frac{\sqrt{7}}{14} g} \quad (2.1.13)$$

Da man bei Verwendung von $-\frac{1}{2} \sqrt{8gz_0}$ eine negative Zeit erhalten würde, ist für die physikalische Betrachtung nur die Lösung $+\frac{1}{2} \sqrt{8gz_0}$ sinnvoll.

Damit ergibt sich nach weiteren Umformungen für die Zeit t_3 :

$$t_3 = (\sqrt{56} - \sqrt{42}) \sqrt{\frac{z_0}{g}} \quad (2.1.14)$$

Addiert man nun die beiden Zeiten t_2 (2.1.7) und t_3 (2.1.14) erhält man als Gesamtzeit:

$$t_2 + t_3 = (\sqrt{2} + \sqrt{56} - \sqrt{42}) \sqrt{\frac{z_0}{g}} \approx 2,42 \sqrt{\frac{z_0}{g}} \quad (2.1.15)$$

Man sieht, dass die Summe von t_2 und t_3 kleiner ist als t_1 .

Bemerkung

Die Kugeln, sofern sie homogen sind, beeinflussen das Ergebnis nicht. Es können daher auch unterschiedliche Kugeln (verschiedene Masse, unterschiedliche Größe,...) verwendet werden. Kommen zwei verschiedene Kugeln zum Einsatz, ist es wichtig, den Versuch zweimal durchzuführen, damit diese Unabhängigkeit deutlich gemacht wird.

Das eben behandelte Problem (Brachistochronen – Problem) stellte bereits 1696 Johann Bernoulli seinem älteren Bruder Jakob und anderen Kollegen, darunter auch Isaac Newton vor.

Sehr zum Ärgernis von Johann Bernoulli löste gerade sein Bruder Jacob Bernoulli dieses auf eleganteste Weise. Er verglich den Lichtweg in einem Medium mit veränderlichen Brechzahlen. Dann wendete er das Fermatsche Prinzip der kürzesten Laufzeit und die bekannten Fallgesetze unter Ausnutzung der Eigenschaften einer Zykloide an. Die Variationsrechnung entwickelte sich daraus als eine neue mathematische Disziplin.

2.1.1 Freier Fall

Der freie Fall ist eines der wichtigsten Beispiele für die gleichförmig beschleunigte Bewegung.

Die Fallgesetze unterliegen experimentellen Befunden.

$$s = \frac{1}{2} g t^2 \quad (2.1.1.1)$$

$$v = g t \quad (2.1.1.2)$$

| | | |
|-----------|---------------------|---|
| $s \dots$ | [m] | Weg |
| $g \dots$ | [ms ⁻²] | Erdbeschleunigung ($g \approx 9,81 \text{ms}^{-2}$) |
| $t \dots$ | [s] | Fallzeit |
| $v \dots$ | [ms ⁻¹] | Fallgeschwindigkeit |

Freier Fall: Münze im Windschatten

Material

- ✓ Münze
- ✓ Blatt Papier

Durchführung

Man legt die Münze auf das Papier, zeichnet den Umriss nach und schneidet den Kreis aus.



Abb.2.1.1. 1

Man führt nun zwei Versuche durch:

1. Man legt das Papier genau über die Münze und lässt beide fallen.
2. Man verschiebt das Papier, sodass es über den Rand der Münze hinausragt und lässt es dann ebenfalls fallen.

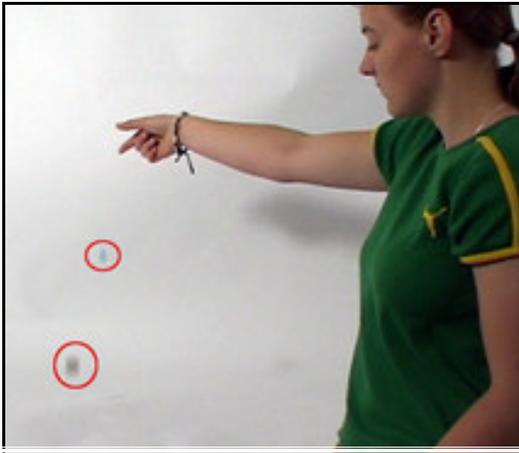


Abb.2.1.1. 2

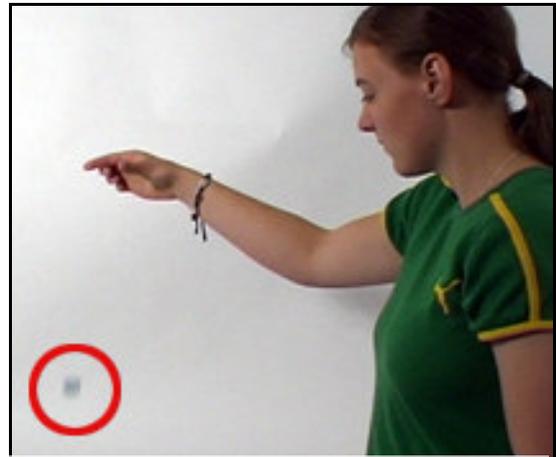


Abb.2.1.1. 3

Beobachtung

Im ersten Fall fallen Münze und Papier gleich schnell zu Boden. (Abb. 2.1.1. 2)

Beim zweiten Experiment fällt die Münze schneller zu Boden, da sich das Papier nun außerhalb des Windschattens der Münze befindet. (Abb. 2.1.1. 3)

Freier Fall: Kartonkarten

Material

- ✓ 2 Kartonkarten DIN A5 (Ansichtskarten)

Durchführung

Zwei Karten werden gleichzeitig, aus gleicher Höhe losgelassen, während die eine horizontal zum Boden, die andere vertikal zum Boden gehalten wird.

Beobachtung

Die horizontal zum Boden gehaltene Karte braucht länger als die senkrechte.



Abb.2.1.1. 4

Bemerkung

Den Einfluss des Luftwiderstandes kann man noch deutlicher zeigen, indem man die beiden Karten präpariert. Man klebt eine Münze in die Mitte der ersten Karte und eine Münze in die Nähe der kürzeren Kante der zweiten Karte.

Freier Fall: Papier – Radiergummi

Material

- ✓ Blatt Papier
- ✓ Radiergummi

Durchführung

Erster Durchgang: Das Blatt Papier und der Radiergummi werden gleichzeitig aus gleicher Höhe losgelassen.

Zweiter Durchgang: Das Blatt wird nun zusammengeknüllt, nun werden wieder beide Gegenstände gleichzeitig aus gleicher Höhe losgelassen.

Beobachtung

Beim ersten Mal fällt der Radiergummi wesentlich schneller, während das Blatt langsam mit nahezu konstanter Geschwindigkeit zu Boden schwebt.

(Abb. 2.1.1. 5)

Beim zweiten Versuch fallen Radiergummi und Papierknäuel annähernd gleich schnell. (Abb. 2.1.1. 6)

Physikalischer Hintergrund

Der freie Fall ist das wichtigste Beispiel für die gleichförmig beschleunigte Bewegung. Man versteht darunter den Fall eines Körpers im Vakuum. Die ersten Fallversuche wurden von GALILEI am schiefen Turm von Pisa um 1600 nach Chr. durchgeführt.

Später wurden diese Experimente in evakuierten Röhren mit Aluminium- und Bleikugeln nachvollzogen.

Der experimentelle Befund lieferte folgendes Ergebnis:

Alle Körper fallen gleich schnell mit der Fall- oder Erdbeschleunigung (g) ($g \approx 9,81 \text{ ms}^{-2}$) und unterliegen den Fallgesetzen (2.1.1.1) und (2.1.1.2).

Da wir uns aber in keinem Vakuum befinden, muss ein weiterer Faktor berücksichtigt werden. Der Luftwiderstand ist abhängig von der effektiven Querschnittsfläche des Körpers und verzögert die Bewegung. Darunter versteht man die Parallelprojektion des Körpers auf eine Ebene senkrecht zur Bewegungsrichtung. Der Radiergummi und die Kante der Spielkarte haben eine sehr geringe Fläche. Knüllt man das Papier zu einer Kugel zusammen, verringert sich die Querschnittsfläche enorm. Das Resultat ist die annähernd gleiche Fallzeit.



Abb.2.1.1. 5

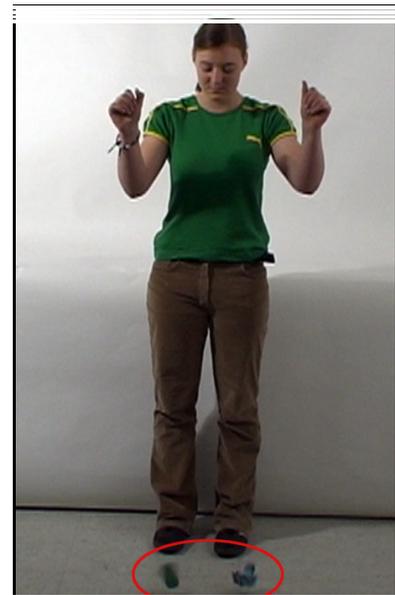


Abb.2.1.1. 6

Messung der menschlichen Reaktionszeit

Material

- ✓ Langes Lineal, Maßstab
- ✓ Versuchsperson

Durchführung

Die Versuchsperson hält eine Hand nach vorne. Nun wird das Lineal so gehalten, dass die Nullmarkierung mit dem Zwischenraum Daumen – Zeigefinger abschließt. (Abb. 2.1.1. 7) Jetzt lässt man das Lineal plötzlich los. Man liest die Fallhöhe (die zurückgelegte Strecke) am Lineal ab (Abb. 2.1.1. 8), trägt das Ergebnis in eine Tabelle ein und bestimmt daraus die Reaktionszeit.



Abb.2.1.1. 7

Beobachtung

Das Lineal fällt nach unten, der Versuchsperson gelingt es erst nach ungefähr 20 bis 30 cm das Lineal zu fassen. Die Zeit, die dabei vergeht, wird Reaktionszeit genannt. (Reaktionszeiten können in Tab. 1 abgelesen werden.)



Abb.2.1.1. 8

Physikalischer Hintergrund

Im freien Fall bewegt sich das Lineal mit einer konstanten Beschleunigung, die der Erdbeschleunigung entspricht. Aus dem Weg-Zeitgesetz (2.1.1.1) erhalten wir nach t aufgelöst

$$t = \sqrt{\frac{2s}{g}} \quad (2.1.1.3)$$

die Reaktionszeit. Dabei verwenden wir für $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$

| | | | | | | | |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Weg [cm] | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Zeit [sec.] | 0,128 | 0,135 | 0,143 | 0,150 | 0,156 | 0,163 | 0,169 |
| Weg [cm] | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| Zeit [sec.] | 0,175 | 0,181 | 0,186 | 0,192 | 0,197 | 0,202 | 0,207 |
| Weg [cm] | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| Zeit [sec.] | 0,212 | 0,217 | 0,221 | 0,226 | 0,230 | 0,235 | 0,239 |
| Weg [cm] | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 |
| Zeit [sec.] | 0,243 | 0,247 | 0,251 | 0,255 | 0,259 | 0,263 | 0,267 |

Tab. 1

Bemerkung

Dieses Experiment würde sich hervorragend als Einstiegsexperiment eignen, da es Wettbewerbscharakter hat: Wer hat die kürzeste Reaktionszeit? Spielregeln sollten aber vorher festgesetzt werden, um eventuelle Streitigkeiten zu verhindern.

Eine Möglichkeit wäre auch anstatt des Lineals einen Geldschein zu nehmen mit der Behauptung, dass ein Fangen des Geldscheins, wenn der Versuchsaufbau der gleiche bleibt und die Versuchsperson den Daumen in der Mitte positioniert, unmöglich ist.

Weiters sollten SchülerInnen darauf hingewiesen werden, dass sich die Reaktionszeit im Straßenverkehr auf Grund der äußeren Einflüsse, wie verschiedene Medikamente, Drogen und Alkohol verlängert.

2.1.2 Überlagerung geradliniger Bewegungen

Vergleich: Waagrechter Wurf – Lotrechte Fallbewegung

Material

- ✓ Lineal
- ✓ 2 gleiche Münzen

Durchführung

Das Lineal wird auf einen Tisch gelegt. Eine Münze legt man auf das Lineal, die andere daneben. Das Lineal fixiert man am hinteren Ende. Danach wird dem Lineal ein kurzer, kräftiger Stoß gegeben, sodass die Münzen gleichzeitig vom Lineal fallen. Dabei führt Münze 1 eine lotrechte, Münze 2 jedoch eine waagrechte Wurfbewegung aus.

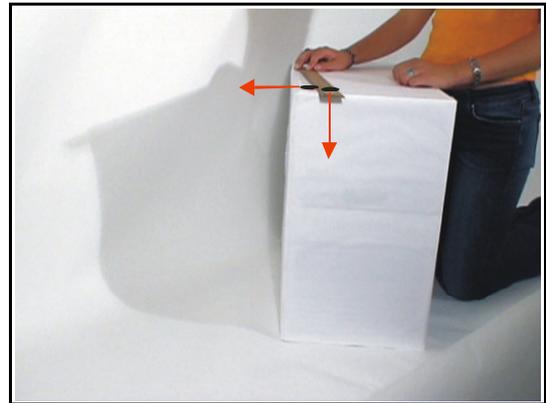


Abb. 2.1.2 1

Beobachtung

Beide Münzen kommen zur selben Zeit am Boden auf, obwohl sie unterschiedliche Wege zurücklegen. (Abb. 2.1.2. 2)



Abb. 2.1.2 2

Physikalischer Hintergrund

Auf Grund ihrer Trägheit fällt Münze M_1 senkrecht zu Boden. Die Anfangsgeschwindigkeit ist dabei gleich Null in vertikaler Richtung. Münze M_2 erfährt zusätzlich eine Bewegung in horizontaler Richtung. (Abb. 2.1.2. 3)

Nach dem Satz der Unabhängigkeit der Bewegungen hat die horizontale Komponente der Bewegung jedoch keinen Einfluss auf den vertikalen Fall. Deshalb fällt die Münze M_2 , deren Anfangsgeschwindigkeit in vertikaler Richtung ebenfalls gleich Null ist, gleich schnell zu Boden wie Münze M_1 . Man vernimmt also nur ein Aufprallgeräusch.

Die Bahnkurve, welche von Münze M_2 beschrieben wird, ist eine Wurfparabel.

Für ihre Wurfdauer gilt (2.1.1.3).

Abhängig von der Anfangsgeschwindigkeit v_0 ist in diesem Fall nur die Wurfweite, das heißt der Auftreffpunkt der Münze am Boden.

Dieser lässt sich einfach durch folgende Formel berechnen.

$$s_w = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (2.1.2.1)$$

| | | |
|-------------|---------------------|---------------------|
| $s_w \dots$ | [m] | Wurfweite |
| $g \dots$ | [ms ⁻²] | Erdbeschleunigung |
| $h \dots$ | [m] | Abwurfhöhe |
| $v_0 \dots$ | [ms ⁻¹] | Fallgeschwindigkeit |

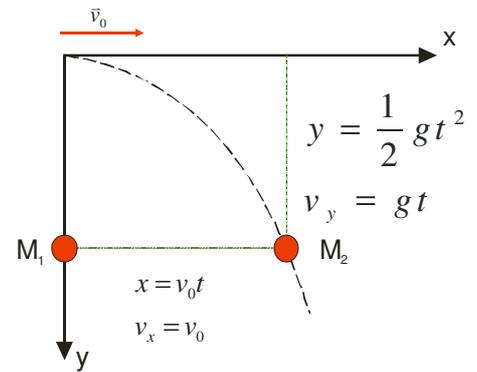


Abb. 2.1.2 3

Vergleich: Waagrechter Wurf – Waagrechte gleichförmige Bewegung

Material

- ✓ 2 gleiche Kugeln
- ✓ Brett
- ✓ Tisch
- ✓ Wand

Durchführung

Beide Kugeln werden gleichzeitig in Bewegung gesetzt. Kugel K_1 beschreibt eine waagrechte gleichförmige Bewegung, Kugel K_2 führt eine waagrechte Wurfbewegung aus.

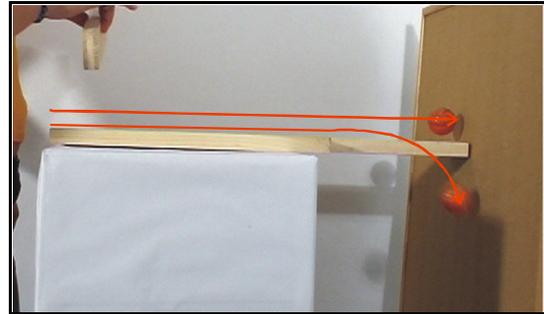


Abb. 2.1.2 4

Beobachtung

Beide Kugeln treffen gleichzeitig auf die Wand.

Physikalischer Hintergrund

Beide Kugeln haben wieder dieselbe Anfangsgeschwindigkeit in horizontaler Richtung. Nach dem Satz der Unabhängigkeit der Bewegungen beeinflusst die vertikale Komponente der Bewegung von Kugel K_2 die horizontale nicht.

Bemerkung

Die beiden vorangegangenen Versuche sollen die Unabhängigkeit der Bewegungen verdeutlichen. Da die theoretische Betrachtung vielen SchülernInnen Schwierigkeiten bereitet, sind diese einfachen Versuche ideal zum besseren Verständnis geeignet.

2.2 Kraft-Masse

2.2.1 Kraft – Masse

„actio = reactio“ Seilziehen auf Rollschuhen

Material

- ✓ 2 Paar Rollschuhe oder 2 Skateboards
- ✓ Seil (Länge ca. 10 m)



Abb. 2.2.1 1

Durchführung

Zwei SchülerInnen mit annähernd gleicher Masse ziehen sich Rollschuhe an und werden in ca. 10 m Entfernung aufgestellt. Man markiert die Mitte zwischen ihnen. Nun fassen beide je ein Ende vom Seil. Ein(e) SchülerIn zieht am Seil, während die/der andere es nur festhält. Beim zweiten Versuch ziehen beide am Seil.

Beobachtung

Egal ob nur ein(e) SchülerIn oder beide am Seil ziehen, wir erhalten immer dasselbe Resultat.

Physikalischer Hintergrund

Nach dem 3. Newtonschen Axiom ($actio = reactio$) besitzt jede Kraft eine gleich große Gegenkraft. Zieht also ein(e) SchülerIn am Seil, so erfährt die/der andere SchülerIn eine Kraft, die sie/ihn beschleunigt. Da beide SchülerInnen gleiche Masse haben sollen, erfahren beide dieselbe Beschleunigung – auch die Reibungskraft ist auf Grund der Massengleichheit gleich. Deshalb legen sie in gleicher Zeit gleiche Strecken zurück und treffen sich in der Mitte.

Ziehen beide SchülerInnen am Seil, erfahren beide eine Kraft durch das eigene Ziehen und eine Kraft durch das Ziehen der/des anderen. Die resultierende Kraft ist bei beiden gleich groß. Deshalb treffen sie sich wieder in der Mitte.

Die SchülerInnen auf den Rollschuhen erfahren eine Beschleunigung, die indirekt proportional zu ihrer Masse ist. Bei zwei unterschiedlich schweren SchülernInnen würde daher die/der schwerere eine kürzere Strecke zurücklegen.

Bemerkung

Werden dabei zwei Federwaagen verwendet, kann der jeweilige Kraftaufwand auch gemessen werden.

Papier zerreißen

Material

- ✓ Rechteckiges Stück Papier
- ✓ Schere
- ✓ Münze

Durchführung

Man schneidet an beiden Seiten des Papiers einen etwa fingerbreiten Streifen fast ab. (Abb. 2.2.1. 3) Die Verbindung sollte noch ungefähr 1 bis 2 mm breit sein. Nun hält man die beiden eingeschnittenen Streifen in den Händen und versucht, so an ihnen zu ziehen, dass beide auf einmal abreißen, sodass das Mittelstück ohne Beschädigung zu Boden fällt.

In der Regel wird das nicht funktionieren, deshalb muss man folgenden Trick anwenden:

Man klebt eine Münze auf das Mittelstück und versucht es noch einmal.



Abb. 2.2.1 2

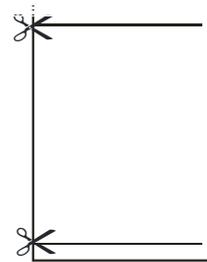


Abb. 2.2.1 3

Beobachtung

Ohne die Münze wird es nicht gelingen, die äußeren Streifen vom Mittelstück zu trennen, ohne dass dieses beschädigt wird.

Physikalischer Hintergrund

Aufgrund der geringen Masse des Papiers wird die Kraft, mit der man an den Streifen zieht immer ausreichen, um auch das Mittelstück im gleichen Maße zu beschleunigen. Zieht man mit weniger Kraft, reicht diese nicht aus, um die Verbindungen zwischen Seitenstreifen und Mittelstück zu trennen.

Klebt man jedoch eine Münze auf das Mittelstück, wird die Masse deutlich größer. Deshalb erfährt das Mittelstück bei Krafteinwirkung eine wesentlich kleinere Beschleunigung (Masse ist indirekt proportional zur Beschleunigung) als die beiden äußeren Streifen. Die Streifen reißen ab und das Mittelstück fällt unversehrt zu Boden.

2.2.2 Reibung

Reibung wandelt kinetische Energie in Wärme um.

Die zwei wichtigsten Reibungsmechanismen sind:

- Coulomb-Reibung oder trockene Reibung
- Stokes-Reibung oder viskose Reibung

In den folgenden Versuchen haben wir hauptsächlich mit der trockenen Reibung zu tun. Darunter versteht man die Bewegung eines Körpers auf einer festen Unterlage ohne Verwendung von Schmiermitteln. Die trockene Reibung ist annähernd unabhängig von der Geschwindigkeit. Bestimmt wird sie durch die Normalkraft F_N und den Reibungskoeffizienten μ . Unter der Normalkraft ist jene Kraft zu verstehen, mit der der Körper auf die Unterlage gedrückt wird.

Einfacher SchülerInnenversuch zur Reibung

Material

- ✓ 2 Bürsten

Durchführung

Zwei Bürsten werden mit ihren glatten Flächen aneinander gerieben. Dann dreht man eine Bürste um und reibt die glatte Fläche mit der Borstenseite. Zum Schluss dreht man auch die zweite Bürste um und reibt Borsten mit Borsten.



Abb. 2.2.2 1

Beobachtung

Die glatten Flächen lassen sich mühelos aneinander reiben. Treffen jedoch Borsten auf Borsten ist ein erheblicher Kraftaufwand erforderlich um die beiden Bürsten aneinander zu reiben.

Physikalischer Hintergrund

Der Reibungskoeffizient μ hängt von der Oberflächenbeschaffenheit der beiden Materialien ab. Der Holzrücken der Bürsten hat einen wesentlich kleineren Reibungskoeffizienten als die Vorderseite der Bürsten. Da der Reibungskoeffizient proportional zur Reibungskraft ist gilt: Je größer μ , desto größer F_R . (F_R ...Reibungskraft)

Zauberei mit Karten

Material

- ✓ Päckchen neue Spielkarten

Durchführung

Man verwendet ein neuwertiges Päckchen Spielkarten und bittet jemanden eine Karte auszuwählen. Nun behauptet man, dass man die Karte ohne sie vorher anzusehen wieder finden kann. Man muss sich jedoch die Karte auf den Kopf legen lassen, um sie sich besser zu „merken“. Während die Karte auf dem Kopf liegt, bewegt man diesen unauffällig hin und her.

Danach wird die Karte wieder zurück ins Päckchen gesteckt und die Karten werden gut durchgemischt und auf den Tisch gelegt. Mit einem kräftigen, schrägen Schlag mit der Handkante auf das Kartenpäckchen teilt sich der Stapel. Die gesuchte Karte ist die letzte Karte des oberen Stapels.



Abb. 2.2.2 2

Physikalischer Hintergrund

Fast alle Haare sind fettig, auch „trockene“ Haare. Ausgenommen sind nur frisch gewaschene Haare. Durch die Bewegung des Kopfes während die Karte darauf liegt wird die Vorderseite der Karte „gewachst“. Dadurch verringert sich der Haftreibungskoeffizient dieser Karte. Durch den schrägen Schlag mit der Handkante – so genannte Scherkräfte wirken – wird die kleinste der Haftreibungskräfte zwischen den Karten überwunden. Die „eingefettete“ Karte gleitet aus dem Stapel, da ihr Gleitreibungskoeffizient kleiner ist als der Haftreibungskoeffizient der übrigen Karten.

Bemerkung

Den umgekehrten Effekt nutzt man beim Wachsen von Langlaufskiern. Auf die Skienden wird Wachs aufgetragen, welches Reibung verhindert, in die Skimitte Wachs, welches Reibung verstärkt. So ist es dem Langläufer möglich, durch Gewichtsverlagerung auf einen Fuß die Skimitte auf den Schnee zu drücken und sich dadurch leichter abzustoßen.

SchülerInnenversuch zur Haft- und Gleitreibung

Material

- ✓ Tisch
- ✓ Schwerer Gegenstand
- ✓ Seife

Durchführung

Der schwere Gegenstand wird auf den Tisch gestellt und wie im Bild hochgehoben. Der Versuch wird wiederholt, jetzt jedoch mit eingeseiften Händen.



Abb. 2.2.2 3

Beobachtung

Der Gegenstand lässt sich mit eingeseiften Händen nicht wie vorgegeben hochheben.

Physikalischer Hintergrund

Hebt man den Gegenstand mit „trockenen“ Händen hoch, bleibt dieser an den Händen haften. Die Seife bildet jedoch eine Gleitschicht, deshalb kann der Gegenstand auf diese Weise nicht gehoben werden. Er rutscht durch.

Streichholzkeile

Material

- ✓ einige Streichhölzer

Durchführung

Ein Streichholz wird auf den Tisch gelegt. Nun legt man 8 bis 12 weitere Streichhölzer abwechselnd von links und rechts auf das Streichholz. Die Streichhölzer müssen einander berühren. Das letzte Streichholz wird in die entstandene Furche gelegt. Das am Tisch liegende Streichholz hebt man vorsichtig hoch.

Beobachtung

Die Streichhölzer fallen nicht auseinander, sondern bilden einen Keil.

Physikalischer Hintergrund

Auf Grund der auftretenden Haftreibungskräfte haften die Streichhölzer aneinander.

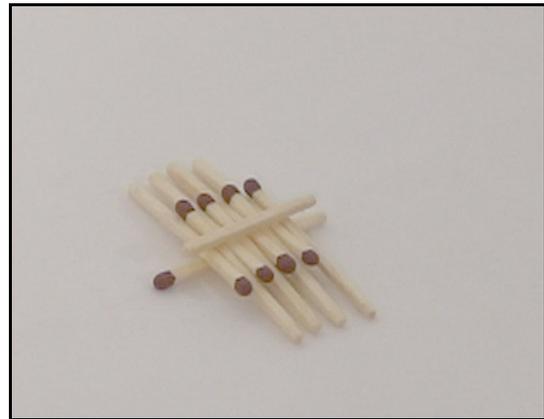


Abb. 2.2.2 4

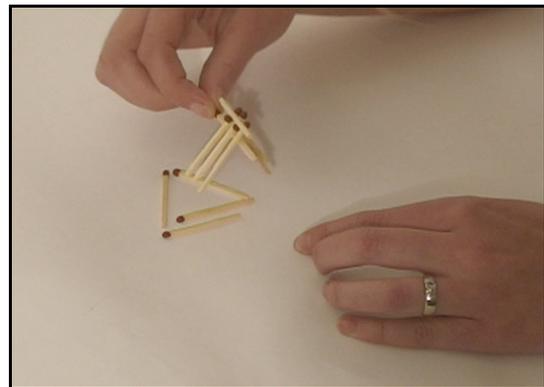


Abb. 2.2.2 5

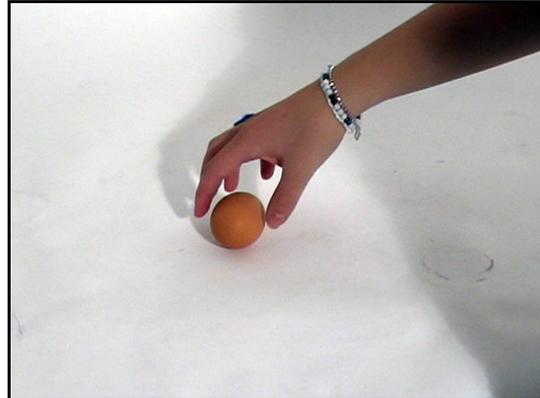
Das rohe Ei

Material

- ✓ 1 rohes Ei

Durchführung:

Man dreht ein rohes Ei oft hintereinander an. Wenn es sich dann ordentlich dreht, stoppt man es kurz mit einem Finger.



Beobachtung

Abb. 2.2.2 6

Anfangs bekommt man das rohe Ei nur schwer in Drehung. Es stoppt sehr schnell wieder seine Bewegung. Führt man das Ganze jedoch oft hintereinander aus, so beginnt sich das Ei immer schneller und besser zu drehen. Wird es mit dem Finger kurz abgebremst, beginnt es sich wieder von selbst zu drehen.

Physikalischer Hintergrund

Bei einem rohen Ei handelt es sich um keinen homogenen Körper. Das heißt, dass Schale mit Eiweiß und Dotter nicht verbunden sind. Wird die Schale angedreht, versucht der flüssige Teil des Eies seinen Bewegungszustand der Ruhe aber beizubehalten. Er bremst das Ei ab und es kommt schnell wieder zur Ruhe.

Nachdem das Ei aber oft und in kurzen zeitlichen Abständen angedreht wurde, rotiert auch die Flüssigkeit im Inneren des Eies mit. Wird das Ei nun abrupt gestoppt, bewegen sich Eiklar und Dotter im Inneren aber nach dem Trägheitsprinzip trotzdem weiter. Auf Grund der auftretenden Reibungskräfte zwischen der Schale und dem Ei-Inneren beginnt sich das Ei nach dem Loslassen wieder erneut zu drehen.

2.2.3 Gravitationskraft

Die Gravitationskraft ist eine universelle Eigenschaft aller Massen. Sie macht sich durch die gegenseitige Anziehungskraft zweier Massen bemerkbar. Das Newtonsche Gravitationsgesetz lautet:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2.2.3.1)$$

| | | |
|-------------|---|---|
| $G \dots$ | $[\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}]$ | Gravitationskonstante ($6.6726 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{kg}^{-2}$) |
| $m_1 \dots$ | $[\text{kg}]$ | Massenpunkt 1 |
| $m_2 \dots$ | $[\text{kg}]$ | Massenpunkt 2 |
| $r \dots$ | $[\text{m}]$ | Abstand der Massenpunkte |

Folgerungen aus dem Gravitationsgesetz

- Alle Körper fallen gleich schnell
- Die Erdbeschleunigung g nimmt quadratisch mit dem Abstand vom Erdmittelpunkt ab
- Masse eines beliebigen Zentralkörpers (Erde) kann ermittelt werden.

Der fliegende Tischtennisball

Material

- ✓ Tischtennisball
- ✓ Pappbecher
- ✓ Wasser

Durchführung

Der Becher wird zu $\frac{2}{3}$ mit Wasser gefüllt. Den Tischtennisball legt man ins Wasser. Nun lässt man den Becher samt Inhalt fallen.

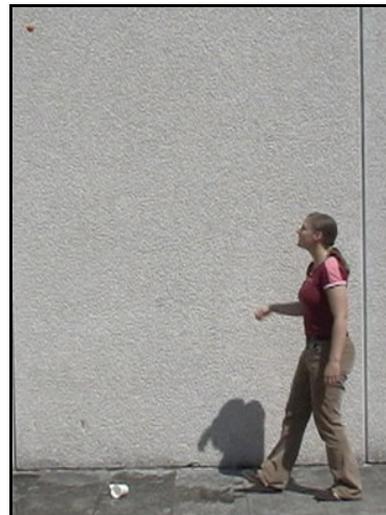


Abb. 2.2.3 1

Beobachtung

Während des Falles bleibt der Tischtennisball im Wasser. Trifft der Becher am Boden auf, wird der Ball aus dem Becher geschleudert.

Physikalischer Hintergrund

Aufgrund der Schwerkraft bleibt der Ball im Becher, da Becher, Wasser und Ball gleich stark angezogen werden. Wenn der Becher auf den Boden trifft, wird sein Inhalt stark verzögert. Im Wasser baut sich großer Druck auf und schleudert den Tischtennisball aus dem Becher.

Schwerelosigkeit

Material

- ✓ Rexgummi,
- ✓ Wäscheklammern

Durchführung

Die Wäscheklammern werden am Rexgummi befestigt. Danach lässt man den Gummi mitsamt den Klammern fallen.

Beobachtung

Ist der Rexgummi in Ruhe, das heißt wird er gehalten, verliert er seine runde Form. (Abb.2.2.3. 2) Die Schwerkraft zieht die Wäscheklammern nach unten. Lässt man nun jedoch den Rexgummi samt Wäscheklammern fallen, nimmt der Gummi während des freien Falls seine ursprüngliche Form an. (Abb. 2.2.3. 3)

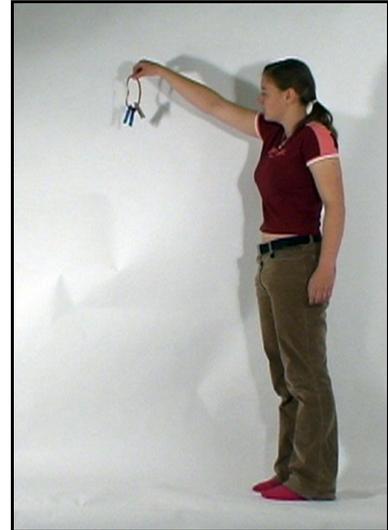


Abb. 2.2.3 2

Physikalischer Hintergrund

Auf die ruhenden Wäscheklammern wirkt eine Gewichtskraft.

$$F = mg \quad (2.2.3.2)$$

| | | |
|-----------|----------------------|-------------------|
| $F \dots$ | $[\text{kgms}^{-2}]$ | Gewichtskraft |
| $m \dots$ | $[\text{kg}]$ | Masse |
| $g \dots$ | $[\text{ms}^{-2}]$ | Erdbeschleunigung |

Diese dehnt den Rexgummi.

Da fallende Körper schwerelos sind, wirkt daher während des Falles auch keine Gewichtskraft auf die Wäscheklammern. Deshalb zieht sich der Gummi zusammen und nimmt seine ursprüngliche runde Form an.

Bemerkung

Angehende Astronauten werden auf die Schwerelosigkeit im All durch „frei fallende“ (im Sturzflug befindliche) Flugzeuge vorbereitet.



Abb. 2.2.3 3

Das Loch in der Flasche

Material

- ✓ Petflasche
- ✓ Wasser
- ✓ Bohrer

Durchführung

Die Petflasche wird mit Wasser befüllt. Nun bohrt man ein Loch ins untere Drittel der Flasche. Die Flasche wird möglichst hoch gehalten und fallen gelassen.

Beobachtung

Während des Falls spritzt kein Wasser aus dem Loch in der Flasche.

Physikalischer Hintergrund

Da frei fallende Körper schwerelos sind, wirkt auch auf Wasser keine Gewichtskraft. Befindet sich die Flasche jedoch in Ruhe, wird aufgrund des Eigengewichts das Wasser aus der Flasche gedrückt.

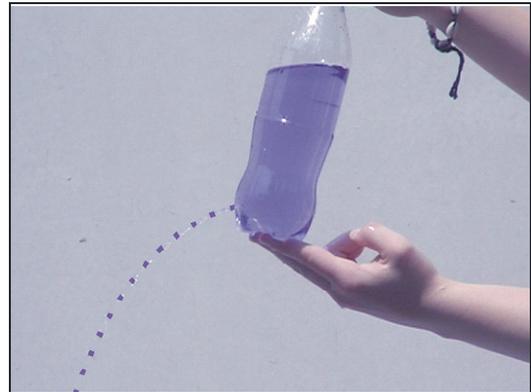


Abb. 2.2.3 4



Abb. 2.2.3 5

2.2.4 Trägheitskräfte

2.2.4.1 in geradlinig beschleunigten Systemen

Das Trägheitsprinzip

Eines der drei Newtonschen Axiome ist das so genannte Trägheitsprinzip. Jeder Körper verbleibt im Zustand der Ruhe oder einer gleichförmig geradlinigen Bewegung, solange keine Kräfte auf ihn wirken. Die folgenden Versuche stützen sich auf dieses Prinzip.

Träges Wasser

Material

- ✓ Becher mit Wasser

Durchführung

Der Becher mit Wasser wird ruckartig bewegt.



Beobachtung

Abb. 2.2.4.1 1

Das Wasser schwappt gegen die Bewegungsrichtung über.

Vollbremsung

Material

- ✓ Streichholzschachtel
- ✓ Blatt Papier

Durchführung

Die Streichholzschachtel wird mit der Öffnung nach unten auf ein Blatt Papier gestellt. Das Papier zieht man schnell an der Schmalseite über den Tisch und hält es dann ruckartig, aber ohne Gegenbewegung an.

Beobachtung

Die Streichholzschachtel fällt in Bewegungsrichtung um.

Physikalischer Hintergrund

Die Eigenschaft eines Körpers, auf den keine äußeren Kräfte wirken, in seinem Bewegungszustand zu verharren, nennt man Trägheit.

Da die für die Änderung des Bewegungszustandes nötige Kraft proportional zur Masse des Körpers ist, kann man die Masse als Grund für die Trägheit ansehen.

Bemerkung

Denselben Effekt kann man beim Straßenbahn- oder Zugfahren erleben. Steht man, wenn losgefahren wird, muss man sich festhalten, um nicht nach hinten zu fallen. Umgekehrt gilt, dass wir beim plötzlichen Bremsen nach vorne kippen, da unser Körper seine Bewegung beibehalten will.

Für das Auto- und Busfahren gilt natürlich das Gleiche.

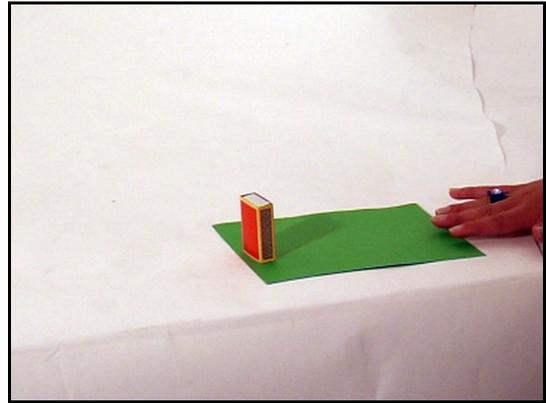


Abb. 2.2.4.1 2

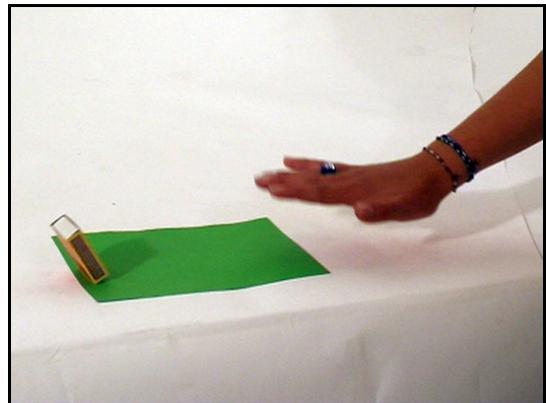


Abb. 2.2.4.1 3

Der träge Turm

Material

- ✓ Einige Münzen

Durchführung

Aus den Münzen wird bis auf eine ein Turm gebaut. Nun versucht man mit Hilfe der einen Münze die unterste Münze aus dem Turm zu schießen.

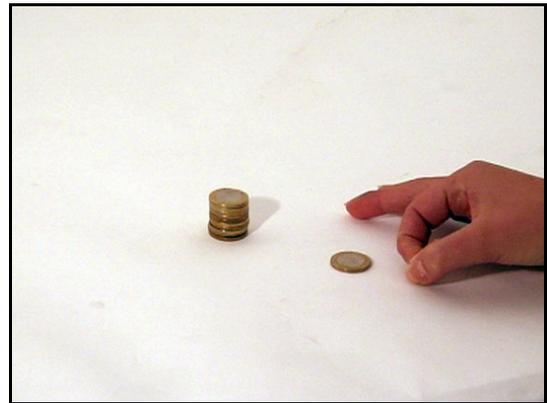


Abb. 2.2.4.1 4

Beobachtung

Die unterste Münze wird aus dem Turm geschossen, ohne dass dieser umfällt.

Variante

Anstelle des Münzstapels kann auch eine Streichholzschachtel mit zwei Münzen verwendet werden. Dabei wird die Schachtel auf die eine Münze gestellt und diese dann mittels der zweiten unter der Schachtel herausgeschossen.

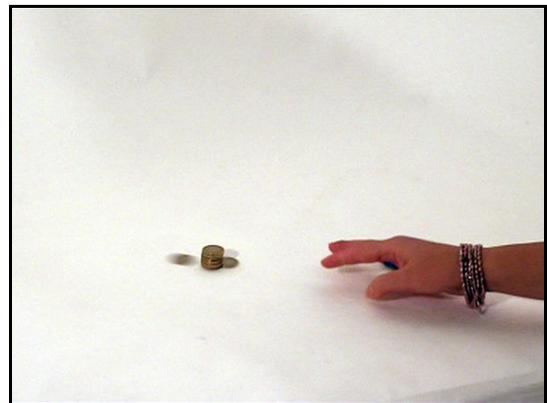


Abb. 2.2.4.1 5

Die träge Münze

Material

- ✓ Glas
- ✓ Blatt Papier, Karton, Bierdeckel
- ✓ Münze

Durchführung

Man legt den Karton auf das Glas und auf den Karton die Münze. Nun zieht man den Karton einmal schnell und einmal ganz langsam weg.

Beobachtung

Wird der Karton schnell weggezogen, fällt die Münze ins Glas. Versucht man das ganze langsam, bleibt die Münze auf dem Karton liegen.

Physikalischer Hintergrund

Ruhende Körper setzen dem „in Bewegung setzen“ einen Widerstand entgegen, die so genannte Trägheit. Daher fällt die Münze, wenn man den Karton schnell wegzieht in das Glas. Die Münze ist träge und bestrebt, den Zustand der Ruhe beizubehalten.

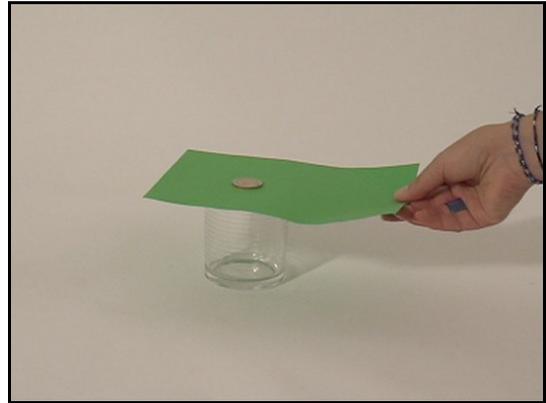


Abb. 2.2.4.1 6

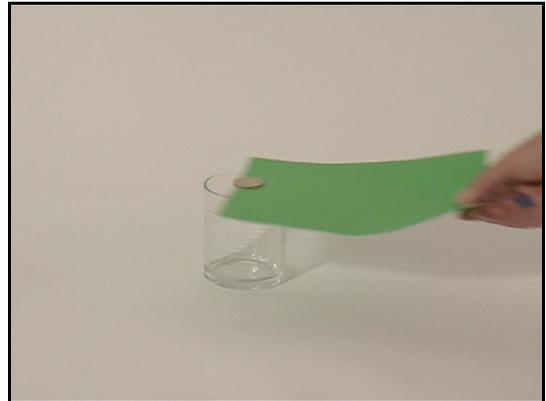


Abb. 2.2.4.1 7

Die träge Orange

Material

- ✓ Orange; Apfel
- ✓ Zündholzschachtel
- ✓ Bierdeckel, Postkarte
- ✓ Tasse

Durchführung

Der Bierdeckel wird auf die Tasse gelegt. Darauf werden Zündholzschachtel und Orange getürmt. Nun zieht man den Bierdeckel ruckartig weg.

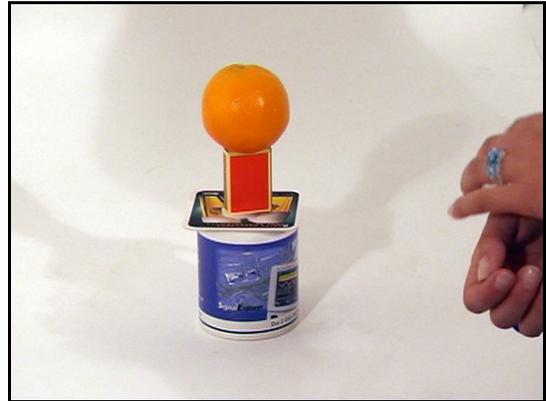


Abb. 2.2.4.1 8

Beobachtung

Durch das ruckartige Wegziehen des Bierdeckels fällt die Orange direkt in die Tasse, die Zündholzschachtel fällt jedoch neben die Tasse.

Physikalischer Hintergrund

Die Orange ist träge. Zieht man nun den Bierdeckel weg, bekommen sowohl Zündholzschachtel als auch Orange einen Impuls in horizontaler Richtung mit. Da die Orange eine große Masse hat, bewegt sie sich aufgrund ihrer Trägheit nur ein minimales Stück in horizontaler Richtung. Durch die wirkende Gravitationskraft fällt die Orange in die Tasse. Auch auf die viel leichtere Zündholzschachtel wirkt die Gravitationskraft. Sie wird sich jedoch in horizontaler Richtung weiter bewegen und deshalb nicht notwendigerweise immer in der Tasse landen.



Abb. 2.2.4.1 9



Abb. 2.2.4.1 10

Der Schnitt durch die Kartoffel

Material

- ✓ Kartoffel, Apfel
- ✓ Stabiles Messer
- ✓ Hammer

Durchführung

Man schneidet mit einem Messer so tief in das Fleisch der Kartoffel, dass diese beim Anheben des Messers nicht mehr herunterfällt. Mit dem Hammer schlägt man nun gegen die in der Kartoffel steckende Klinge des Messers.



Abb. 2.2.4.1 11

Beobachtung

Nach einigen Schlägen hat man die Kartoffel halbiert.

Physikalischer Hintergrund

Die Reibungskraft zwischen Kartoffel und Messerklinge ist geringer als die durch den Schlag ausgeübte Kraft. Das Messer erfährt nach dem Grundgesetz der Mechanik eine große Beschleunigung. Die Kraft des Messers auf die Kartoffel beschleunigt diese aufgrund ihrer großen Masse nur sehr wenig. Die Kartoffel bleibt praktisch stehen, das heißt, sie will ihren Zustand der Ruhe beibehalten. Die Klinge des Messers schiebt sich also durch den Fruchtkörper der Kartoffel.

Bemerkung

Bereits im 16. Jahrhundert wurde von Galileo Galilei anhand ähnlicher Versuche die Trägheit, das heißt der Widerstand eines Körpers gegen Veränderung seiner Lage, nachgewiesen.

2.2.4.2 in drehenden Systemen

Zentrifugalkraft - Zentripetalkraft

Die Zentrifugalkraft oder Fliehkraft wird zu den Trägheitskräften gezählt.

Damit ein Körper der Masse m eine Bewegung auf einer Kreisbahn ausübt, muss auf ihn eine zum Zentrum gerichtete Kraft wirken. Sie hat den Betrag

$$F_{ZP} = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r \quad (2.2.4.2.1)$$

| | | |
|----------------|---------------------|-------------------------------------|
| $F_{ZP} \dots$ | [N] | Zentripetalkraft |
| $m \dots$ | [kg] | Masse des Körpers |
| $v \dots$ | [ms ⁻¹] | Bahngeschwindigkeit |
| $r \dots$ | [m] | Abstand zwischen Zentrum und Körper |
| $\omega \dots$ | [ms ⁻¹] | Winkelgeschwindigkeit |

Diese Kraft wird Zentripetalkraft genannt, ihr gleich großes Gegenstück ist die Zentrifugalkraft.

Gewichte heben durch Rotation

Material

- ✓ Gerade Kugelschreiberhülle, Rohr
- ✓ Muttern, Gewichtstück
- ✓ Zwirn, Garn

Durchführung

Durch die Kugelschreiberhülle fädelt man das Garn und befestigt an einem Ende eine, am anderen drei bis vier Muttern oder ein schweres Gewichtstück. Die Hülle wird so gehalten, dass das Gewichtstück die Schnur senkrecht nach unten zieht. Nun führt man mit der Hülle eine kreisende Bewegung aus.

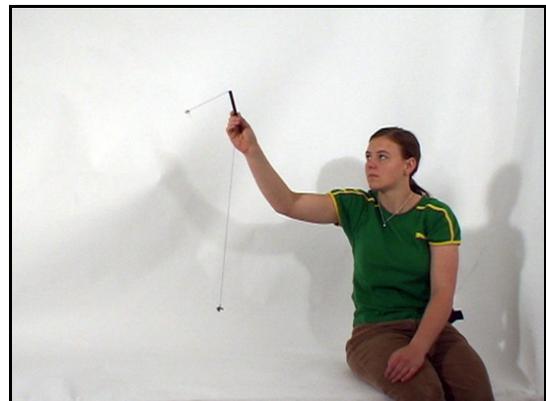


Abb. 2.2.4.2 1

Beobachtung

Durch die Kreisbewegung wird das Gewichtstück mehr oder weniger stark nach oben gezogen.

Physikalischer Hintergrund

Über die Verbindung zwischen Schraubenmutter – Gewichtstück den Faden und seine Gewichtskraft vermittelt das hängende Stück die zur Kreisbewegung notwendige Zentripetalkraft. Wie man aus der Formel (2.2.4.2.1) leicht erkennen kann, ist die Zentripetalkraft abhängig vom Radius r und der Winkelgeschwindigkeit ω . Der Radius ist in diesem Fall durch die Fadenlänge, die Winkelgeschwindigkeit durch die Drehbewegung der Hand gegeben. Variiert man also die Geschwindigkeit der Drehbewegung, kann dies ein Heben und Senken des Gewichtstücks bewirken.

Variante

Anstatt der Gewichte könnte man auch einen Apfel von einem Radieschen heben lassen.

Bemerkung

Mit diesem Versuch kann auch eindrucksvoll die Erhaltung des Drehimpulses gezeigt werden. Zieht man während der Rotation am zu hebenden Gewichtstück, so verkürzt sich der Radius des kreisenden Körpers, die Winkelgeschwindigkeit wird dabei immer schneller.

Zentripetalkraft – Zentrifugalkraft

Material:

- ✓ Schnur
- ✓ Gewichtstück

Durchführung:

Das Gewichtstück wird an einem Ende der Schnur befestigt. Das andere Ende wird nun festgehalten und das Gewichtstück wird auf einer Kreisbahn gleichmäßig bewegt.



Abb. 2.2.4.2 2

Beobachtung:

Wird das Ende der Schnur plötzlich losgelassen, fliegt das Gewichtstück tangential weg. Achtung!!

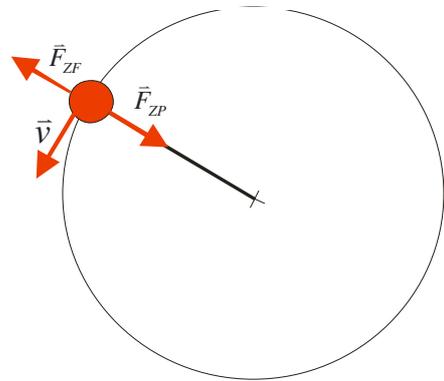


Abb. 2.2.4.2 3

Physikalischer Hintergrund:

Die Bewegung eines Massenpunktes auf einem Kreis mit konstanter Bahngeschwindigkeit kann betrachtet werden als

- Bahnbewegung mit konstanter Geschwindigkeit
 $|\vec{v}| = const$, die jedoch ständig ihre Richtung ändert; oder als
- Gleichförmige Bewegung um einen Mittelpunkt mit konstanter Winkelgeschwindigkeit
 $\omega = const$

Sei nun r der Radius des Kreises, dann gilt folgende Beziehung:

$$\vec{v} = \omega \cdot \vec{r} \quad (2.2.4.2.2)$$

Nun bewegt man das Gewichtstück wie oben angegeben.

Nach dem Newtonschen Trägheitsprinzip sollte das Gewichtstück stets in Tangentialrichtung davonfliegen; die Zugkraft des Fadens zwingt es aber auf die Kreisbahn. Dadurch kommt es zur ständigen Änderung der Richtung der Geschwindigkeit. Die zum Mittelpunkt gerichtete Kraft nennt man Zentripetalkraft (2.2.4.2.1).

Solange auf einen rotierenden Körper eine Zentripetalkraft wirkt, äußert sich seine Trägheit in Form einer vom Zentrum aus radial nach außen wirkenden Kraft, der Zentrifugalkraft (Fliehkraft). Die Fliehkraft ist eine passive Kraft, die keine Bewegung erzeugen, jedoch eine Bewegung verhindern kann. Gibt es keine Zentripetalkraft mehr, das heißt, wird der Faden losgelassen oder reißt die Schnur, so existiert nach dem Newtonschen Axiom *actio = reactio* auch keine Zentrifugalkraft mehr. Die Richtung der Geschwindigkeit wird nicht mehr verändert. Das Gewichtstück fliegt tangential davon.

Bemerkung:

Denselben Effekt kann man bei Verwendung eines Winkelschleifers (Flex) beobachten. Die glühenden Teilchen fliegen vom Auflagepunkt des Metalls an der Trennscheibe ebenfalls tangential weg.

Wie verlässt die Kugel eine Kreisbahn?

Material:

- ✓ Karton, Stück eines Plastikrohrs
- ✓ Schere, Säge
- ✓ Kugel (Murmel, Tischtennisball,...)

Durchführung:

Aus dem Karton wird ein Zylindermantel mit dem Radius r geformt. In den unteren Mantel des Zylindermantels schneidet man eine rechteckige Öffnung. Die Höhe der Öffnung entspricht dem Durchmesser d der verwendeten Kugel, die Bogenlänge s der Öffnung errechnet man sich aus folgender Beziehung:

$$\cos \alpha = \frac{r-d}{r} \quad (2.2.4.2.3)$$

und

$$\alpha = \frac{s}{r} \quad (2.2.4.2.4)$$

aus (2.2.4.2.3) und (2.2.4.2.4) erhält man somit die Bogenlänge s :

$$s = r \cdot \arccos\left(\frac{r-d}{r}\right). \quad (2.2.4.2.5)$$

Der Zylindermantel wird nun auf einen ebenen Untergrund gestellt und die Kugel darin wird so angestoßen, dass sie sich entlang der Innenwand des Zylinders bewegt.

Beobachtung:

Erreicht die Kugel die Öffnung in der Wand, rollt sie tangential vom Zylindermantel weg.

Physikalischer Hintergrund

Die Kugel rollt auf einer Kreisbahn an der Innenwand des Zylinders entlang. Um die Kugel auf der Kreisbahn zu halten, übt der Zylindermantel die Zentripetalkraft auf die Kugel aus. Fehlt die Wand, wirkt keine Kraft mehr auf die Kugel. Deshalb ändert sich ihre Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit nicht mehr (Trägheitsgesetz). Die Kugel rollt in der Richtung und mit der Geschwindigkeit, die sie beim Verlassen des Zylinders hatte, d.h. in Richtung der Tangente an die Stelle des Kreises, an der die Zylinderwand unterbrochen ist. H. HIRSCHLER [4]

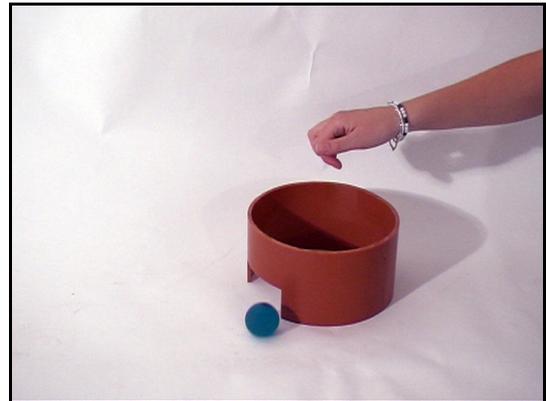


Abb. 2.2.4.2 4

Eimerschleudern

Material

- ✓ Eimer
- ✓ Wasser

Durchführung:

Der Eimer wird mit Wasser gefüllt. Nun nimmt man den Eimer am Henkel und kreist damit schnell die Arme. Die Öffnung des Eimers soll dabei immer in die Mitte zeigen.



Abb. 2.2.4.2 5



Abb. 2.2.4.2 6

Beobachtung

Kreist man die Arme schnell genug, bleibt das Wasser im Eimer.

Physikalischer Hintergrund

Die Wassermoleküle werden aufgrund der wirkenden Zentrifugalkraft in den Eimer gedrückt.

Variante

Mit etwas Übung ist es auch möglich ein volles Trinkglas herumzudrehen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass man das Handgelenk ebenfalls drehen muss.

Bemerkung

Derselbe Effekt wird auch bei diversen Geräten in Vergnügungsparks angewendet. So kann man in schnell rotierenden Ringelspielen fast senkrecht zum Boden fahren, ohne sich anurten zu müssen.

Albert Einsteins Experiment

Material

- ✓ Tasse mit Wasser
- ✓ Teeblätter
- ✓ Löffel

Durchführung

1. In die Tasse gibt man einige Teeblätter und wartet, bis sie sich voll gesogen haben. Mit dem Löffel rührt man nun um und lässt das Wasser wieder zur Ruhe kommen.
2. Die Teeblätter haben sich in der Mitte der Tasse am Boden angesammelt. Dreht man nun die Tasse schnell im Kreis, bewegen sich die Teeblätter nach außen.

Beobachtung

1. Kommt das in Rotation geratene Wasser wieder zur Ruhe, sammeln sich die Teeblätter in der Mitte der Tasse.



Abb. 2.2.4.2 7

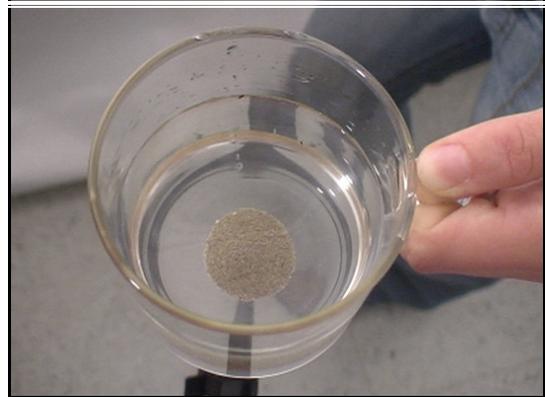


Abb. 2.2.4.2 8

Physikalischer Hintergrund

1. Das rotierende Wasser unterliegt einer Zentripetalkraft. Am Tassenrand wird es aufgrund von Reibungskräften abgebremst und hat daher eine geringere Geschwindigkeit als in der Tassenmitte. Insbesondere sind die Geschwindigkeit und somit auch die Kraft am Boden geringer als die Kraft in der Höhe. Am Tassenrand sinkt das Wasser ab und fließt zur Mitte und nimmt die Teeblätter mit. Das Wasser in der Mitte steigt auf, die Teeblätter bleiben aufgrund ihrer Schwere am Boden liegen.
2. Die Teeblätter unterliegen einer Zentrifugenwirkung. Die Geschwindigkeit am Boden, wo das Wasser sofort in Rotation gerät, ist größer als in der Höhe. Daher erfolgt die Zirkulation des Wassers nun von der Mitte aus hin zu den Tassenrändern. Die Teeblätter werden dabei wiederum mitgenommen. Das Wasser steigt am Tassenrand auf und die Teeblätter treiben am Rand.

Bemerkung

Albert Einstein wurde beim Trinken einer Tasse Tee auf dieses Phänomen aufmerksam, daher der Name des Experiments.

Variante

Anstelle von Teeblättern kann auch feiner Sand verwendet werden.

Papiersäge

Material

- ✓ Bohrer
- ✓ Blatt Papier
- ✓ Schraube mit Mutter und Beilagscheiben
- ✓ Kreide

Durchführung

Man spannt das rund ausgeschnittene Blatt Papier (Durchmesser ca. 10 – 15 cm) in die Bohrmaschine. Die Schraube mit einer Beilagscheibe wird durch den Mittelpunkt der Papierscheibe gesteckt. Dazu ist es hilfreich das Papier im Mittelpunkt anzuritzen. Dann wird die „Trennscheibe“ mit Hilfe einer weiteren Beilagscheibe und der Mutter fixiert. Die Schraube wird dann anstatt eines Bohrers in die Bohrmaschine gespannt und eingeschaltet.

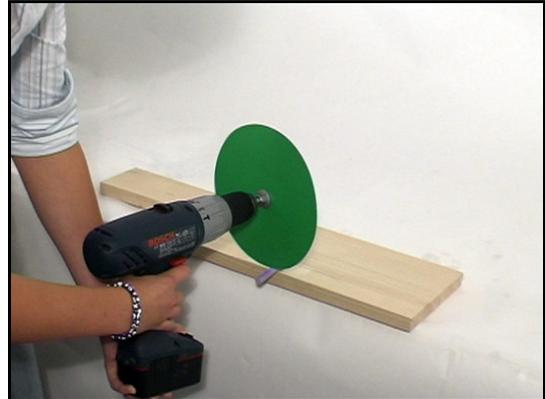


Abb. 2.2.4.2 9

Beobachtung

Durch die Zentrifugalkraft wird das Papier so steif, dass man damit sogar Kreide schneiden kann.

Physikalischer Hintergrund

Durch die hohe Drehzahl der Bohrmaschine wird das Papier so gestrafft, dass es sich ohne Verbiegen in die Kreide frisst. Die Zentrifugalkraft macht das Papier nicht härter, wohl aber steifer. Je höher dabei die Drehzahl ist, desto steifer wird das Papier.



Abb. 2.2.4.2 10

Bemerkung

Denselben Effekt macht man sich auch bei Winkelschleifern (Flex) zu Nutze. Mit relativ weichen Trennscheiben werden sehr harte Materialien wie Stahl oder Beton geschnitten.

Coriolis – Kraft

Die Coriolis- Kraft ist eine Kraft, die in drehenden Systemen nur dann vorkommt, wenn sich ein Körper darin bewegt. Ausgenommen sind Bewegungen parallel oder längs der Drehachse. Der Betrag dieser Kraft lautet

$$F_C = 2mv_r\omega \quad (2.2.4.2.6)$$

| | | |
|----------------|---------------------|--------------------------------------|
| $F_C \dots$ | [N] | Coriolis - Kraft |
| $m \dots$ | [kg] | Masse des Körpers |
| $v_r \dots$ | [ms ⁻¹] | Geschwindigkeit des bewegten Körpers |
| $\omega \dots$ | [ms ⁻¹] | Winkelgeschwindigkeit |

Der Coriolis – Kraft sind folgende Phänomene zu verdanken:

- Ostabweichung fallender Körper
- Einseitig ausgewaschene Ufer von Flüssen
- Einseitige Abnutzung von Eisenbahnschienen
- Wirbel- und Passatwinde

Die Coriolis – Kraft

Material

- ✓ Drehschemel oder Plattenspieler
- ✓ Blatt Papier
- ✓ Schere, gutschreibender Stift (z. B. Filzstift)

Durchführung

Aus dem Papierblatt wird ein Kreis geschnitten. Diesen Kreis legt man auf den Drehschemel oder den Plattenspieler. Nun wird ein gerader Strich vom Mittelpunkt zum Kreisrand gezogen. Dasselbe versucht man nochmals, nun aber bei drehender Scheibe.

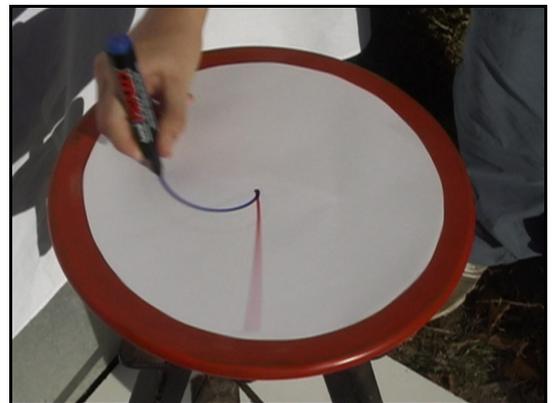


Abb. 2.2.4.2 11

Beobachtung

Dreht sich das Blatt Papier, ist es nicht möglich einen geraden Strich zu ziehen.

Kräfte bei der Drehbewegung

Material

- ✓ Drehschemel oder Plattenspieler
- ✓ Glas
- ✓ Kerze
- ✓ Feuerzeug
- ✓ Klebestreifen

Durchführung

Die Kerze wird mit einem Tropfen Wachs im Glas befestigt. Anschließend klebt man das Glas mit Hilfe des Klebestreifens auf den äußeren Rand des Drehschemels und lässt diesen rotieren.



Abb. 2.2.4.2. 1

Beobachtung

Die Flamme neigt sich nach innen, wird aber leicht abgelenkt.

Physikalischer Hintergrund

Da kalte Luft spezifisch schwerer ist als warme Luft, wird diese durch die Rotation nach außen gedrängt. Die Flamme neigt sich nach innen, weicht jedoch infolge der auftretenden Corioliskräfte von der radialen Richtung ab.

2.3 Arbeit - Energie

Arbeit und Energie sind zwei physikalische Begriffe, die eng miteinander verbunden sind. Man sagt auch: „Energie ist die Arbeitsfähigkeit bzw. gespeicherte Arbeit.“

Der Begriff Arbeit entwickelte sich aus den Studien der Kraftübertragung durch Hebel, Seile und Rollen. Man fand heraus, dass durch geschickte Umlenkvorrichtungen Kraft „gespart“ werden konnte und umgekehrt. Arbeit lässt sich folgendermaßen definieren:

Wenn eine konstante Kraft F den Massenpunkt, auf den sie wirkt, um die Strecke Δs in ihrer eigenen Richtung verschiebt, führt sie ihm die Arbeit W zu:

$$W = \vec{F} \Delta \vec{s} \quad (2.3.1)$$

| | | |
|------------------------|-----|----------------------|
| $\vec{F} \dots$ | [N] | Kraft |
| $\Delta \vec{s} \dots$ | [m] | Weg in Kraftrichtung |
| $W \dots$ | [J] | Arbeit |

Diese Definition ist in zwei Richtungen verallgemeinerbar:

- Unter Berücksichtigung des vektoriellen Charakters von Kraft und Verschiebung lässt sich schnell erkennen, dass eine senkrecht zur Bewegungsrichtung wirkende Kraft keine Arbeit auf einen Massenpunkt leistet. Diese Tatsache kann durch das Skalarprodukt von F und Δs erklärt werden:

$$W = F \Delta s \cos(\vec{F}, \Delta \vec{s}) = F \Delta s \quad (2.3.2)$$

- Kommt es zu einer Änderung der Kraft entlang des Weges oder ist dieser gekrümmt, so kann man die Definition (1) nicht mehr direkt anwenden, sondern muss den Gesamtweg in mehrere Teile zerlegen, auf denen die Änderung der Kraft klein ist. Je feiner diese Unterteilung ist, umso genauer wird dieses Verfahren. Die genaue mathematische Definition der Arbeit liefert das Riemann'sche Linienintegral:

$$W = \int \vec{F} d\vec{s} \quad (2.3.3)$$

Wir unterscheiden hier drei Arten von Arbeit:

- Hubarbeit

$$W = mgh \quad (2.3.4)$$

| | | |
|-----------|---------------------|-------------------|
| $W \dots$ | [J] | Hubarbeit |
| $m \dots$ | [kg] | Masse |
| $h \dots$ | [m] | Höhe |
| $g \dots$ | [ms ⁻²] | Erdbeschleunigung |

- Spannarbeit

$$W_p = \frac{1}{2} Dx^2 \quad (2.3.5)$$

| | | |
|-------------|----------------------|----------------|
| $W_p \dots$ | [J] | Spannarbeit |
| $D \dots$ | [kgs ⁻²] | Federkonstante |
| $x \dots$ | [m] | Ausdehnung |

- Beschleunigungsarbeit

$$W_K = \frac{1}{2} mv^2 \quad (2.3.6)$$

| | | |
|-------------|---------------------|-----------------------|
| $W_K \dots$ | [J] | Beschleunigungsarbeit |
| $m \dots$ | [kg] | Masse |
| $v \dots$ | [ms ⁻¹] | Geschwindigkeit |

Flaschenzug mit Besenstielen

Material

- ✓ 2 Besenstiele oder Stativstangen
- ✓ stabiles, gut gleitendes Seil (Länge: mindestens 4 m)

Durchführung

Man bittet zwei SchülerInnen den Besen wie in der Abbildung zu halten. Der Abstand zwischen den Besenstielen sollte mindestens ein halber Meter sein. An einem der beiden Besenstiele wird das Seil festgeknotet und nach der Abbildung um die Besen gewickelt. Nun zieht ein Dritter am freien Ende des Seils, die beiden anderen versuchen mit aller Kraft ein Zusammengehen der Besen zu verhindern.



Abb. 2.3 1

Beobachtung

Den beiden wird es trotz Einsatzes ihrer ganzen Kraft kaum gelingen die Besen auf Distanz zu halten. Je öfter das Seil um die Besenstiele gewickelt wird, umso weniger Kraft muss die am Seil ziehende Person aufwenden.

Physikalischer Hintergrund

Die beiden BesenstielhalterInnen ziehen mit den Kräften \vec{F}_1 und \vec{F}_2 an ihren Besenstielen, wenn sie dabei den Abstand der Stiele von d um $\frac{1}{2}\Delta d + \frac{1}{2}\Delta d$ auf d^* vergrößern, verrichten sie die Arbeit:

$$W_1 + W_2 = F_1 \cdot \frac{1}{2}\Delta d + F_2 \cdot \frac{1}{2}\Delta d = (F_1 + F_2) \cdot \frac{1}{2}\Delta d \quad (2.3.7)$$

Will die am Seil ziehende Person die betragsgleiche Arbeit verrichten, muss sie den Abstand der Stiele von d^* auf d verringern, das heißt dass alle n Seilabschnitte zwischen den Besenstielen um die Länge Δd verkürzt werden.

Es wird dabei angenommen, dass die Winkel α_i , $i = 1, \dots, n$ im Zick-Zack Verlauf des Seiles sehr klein sind, sodass die Beziehung

$$\cos \alpha_i \approx 1 \quad (2.3.8)$$

gilt. Damit haben wir für die am Seil ziehende Person folgende Arbeit:

$$W = F_3 \cdot n \cdot \Delta d \quad (2.3.9)$$

Durch Gleichsetzen der verrichteten Arbeiten unserer drei Personen erhält man nach dem Auflösen:

$$F_3 = \frac{1}{2n}(F_1 + F_2) \quad (2.3.10)$$

Wird also von den Besen-Haltern jeweils die gleiche Kraft F aufgewandt, kann die dritte Person diese Kraft mit einem Flaschenzug über n Windungen oder Rollen mit einer Kraft des Betrages $F_3 = \frac{1}{n}F$ kompensieren.

Sind die drei Personen in etwa gleich stark, kann die am Seil ziehende Person den Abstand der Besenstiele beliebig verringern, auch wenn die beiden anderen mit voller Kraft ziehen.

Bemerkung

Grundsätzlich gilt, dass eine möglichst große Zahl von Windungen der an dem Seil ziehenden Person hilft. Es können jedoch die auftretenden Reibungskräfte dazu führen, dass weder die Besenstiel-Halter noch die am Seil ziehende Person eine Änderung des Anfangszustandes herbeiführen können.

Bei besonders langen Besenstielen können sogar vier Personen gegen eine antreten. Das Experiment zeigt eindrucksvoll die Bestätigung der GOLDENEN REGEL DER MECHANIK: „Was an Kraft gespart wird, geht an Weg verloren und umgekehrt.“

Die hier unerwünscht auftretende Reibung zwischen Seil und Besenstiel hat in der Seefahrt eine große Bedeutung. Boote und Schiffe werden so am Ufer mit Pfeilern vertäut.

Flaschenzug

Material

- ✓ 2 Rollen (Zwirnrolle, Spulen,...)
- ✓ Schnur (Seil, Zwirn,...)
- ✓ Gewicht (Spielzeugauto,...)
- ✓ Federwaage
- ✓ Stange (Besenstiel, Kochlöffel)

Durchführung

Das Spielzeugauto wird mit der Federwaage senkrecht hochgehoben. (Abb. 2.3. 3) Die Federwaage zeigt die dabei aufgewandte Kraft an.

Anschließend baut man einen Flaschenzug aus den Rollen und hebt das Auto mit Hilfe des Flaschenzuges hoch. (Abb. 2.3. 2) Dazu wird wiederum die Federwaage verwendet.

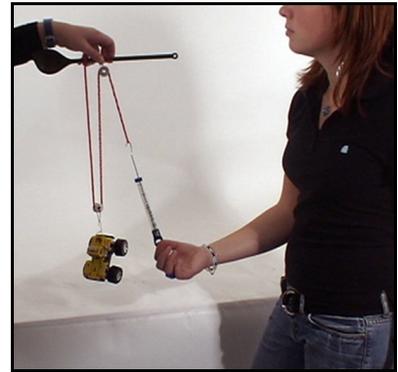


Abb. 2.3 2

Beobachtung

Beim Aufheben des Spielzeugautos mit dem Flaschenzug wird weniger Kraft aufgewandt.

Physikalischer Hintergrund

Der Flaschenzug ist eine der einfachsten mechanischen Maschinen, er dient zur Verrichtung von Arbeit. Durch den Flaschenzug soll die geringe Kraft von Mensch und Tier vergrößert werden.

Für n lose und n feste Rollen gilt:

Wird das Seilende um ds' gezogen, wird die Last nur um

$$ds = \frac{ds'}{2n} \quad (2.3.11)$$

gehoben, das heißt dass sich ds' gleichmäßig auf die $2n$ Seilabschnitte aufteilt.

Auf Grund des Energiesatzes muss

$$F_1 ds = F_2 ds' \quad (2.3.12)$$

gelten, daher erhalten wir für F_2 :

$$F_2 = \frac{F_1}{2n} \quad (2.3.13)$$

In unserem Fall haben wir eine feste und eine lose Rolle. Zieht man das Seilende um ds' , so

hebt sich die Last um $ds = \frac{ds'}{2}$. Nach (2.3.13) erhalten wir

$$F_2 = \frac{F_1}{2} \quad (2.3.14)$$

Man muss also nur mit halber Kraft am Seil ziehen.



Abb. 2.3 3

Bemerkung

Durch Reibung kann es zu Verlusten kommen.

Wirkung der schiefen Ebene

Material

- ✓ Federwaage
- ✓ Spielzeugauto
- ✓ Brett für die schiefe Ebene
- ✓ Maßband

Durchführung

An einem Spielzeugauto befestigt man die Federwaage, lässt das Auto hängen und misst die Gewichtskraft (Abb. 2.3. 3). Nun lehnt man ein Brett schräg gegen ein Hindernis und zieht das Auto mit der Federwaage die schiefe Ebene hinauf. (Abb. 2.3. 4)

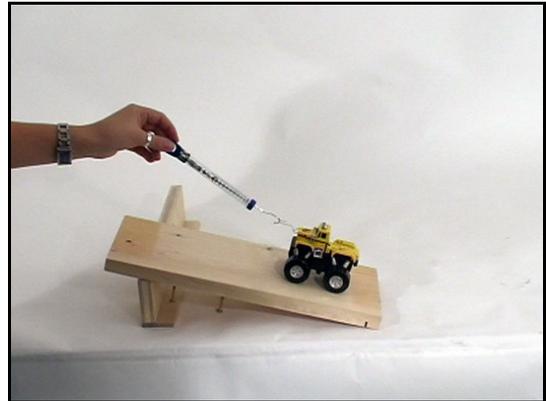


Abb. 2.3 4

Beobachtung

Auf der schiefen Ebene wird weniger Kraft aufgewandt.

Physikalischer Hintergrund

Hebt man ein Auto senkrecht in die Höhe, legt man den kürzest möglichen Weg zurück. Nach der goldenen Regel der Mechanik muss man dabei jedoch die meiste Kraft aufwenden. Nimmt man eine schiefe Ebene zur Hilfe, so verlängert sich der zurückgelegte Weg um die gleiche Höhe zu erreichen, die benötigte Kraft jedoch verringert sich.

Dazu betrachtet man das Auto als reibungsfrei gleitend (in unserem Fall rollt es die Ebene hinauf). Wir betrachten in diesem Fall die Hubarbeit. Nach (2.3.4) ist sie nur von der zu erreichenden Höhe und der Masse, nicht aber vom zurückgelegten Weg abhängig.

Der Begriff der Energie ist der erste abstrakte Begriff, den man sich erarbeiten muss. Denn anders als bei der Länge, der Masse oder der Kraft findet man den Begriff in unserer natürlichen Erfahrung nicht vorgeformt. Es ist uns nicht möglich, den Begriff im Sinne einer Präzisierung in die Physik zu übernehmen.

Es ist gerade umgekehrt: Der Energiebegriff wurde aus der Physik in unser tägliches Leben und das Bewusstsein der modernen Welt hineingetragen und spielt nun dort eine beherrschende Rolle.

In den folgenden Kapiteln beschäftigen wir uns auch mit den Erhaltungssätzen der Mechanik. Jeder physikalische Vorgang wird maßgeblich von Erhaltungssätzen bestimmt. Bei jeder Analyse eines Geschehens stellt sich nun die Frage, welche der verschiedenen Erhaltungssätze unter gegebenen Bedingungen ihre Gültigkeit haben.

Energiesatz der Mechanik – allgemeiner Energiesatz

In einem abgeschlossenen System bleibt die Summe aller Energien E_i (in den verschiedensten Formen) konstant.

$$\sum_i E_i = \text{const.} \quad (2.3.15)$$

Verschiedene Formen der Energie:

- Kinetische Energie
- Potentielle Energie oder Lageenergie
- Innere Energie
- Verformungsenergie ...

Das JOJO

Material

- ✓ Zwei Jojos

Durchführung

Man vergleicht die Bewegungen eines frei fallenden und eines abrollenden Jojos.

Dabei wird die Schnur des frei fallenden Jojos vor dem Loslassen abgewickelt. Die beiden Jojos werden dann gleichzeitig aus gleicher Höhe losgelassen.

Beobachtung

Das frei fallende Jojo erreicht als erstes den Boden.



Abb. 2.3 5

Physikalischer Hintergrund

Anhand des Kinderspiels Jojo kann man die Umwandlung zwischen den mechanischen Energieformen sehr schön betrachten.

$$E_{pot} = mgl \quad (2.3.16)$$

| | | |
|-----------------|---------------------|---------------------|
| $E_{pot} \dots$ | [J] | Potentielle Energie |
| $m \dots$ | [kg] | Masse |
| $l \dots$ | [m] | Schnurlänge |
| $g \dots$ | [ms ⁻²] | Erdbeschleunigung |

$$E_{kin,trans} = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.3.17)$$

| | | |
|-----------------------|---------------------|---------------------|
| $E_{kin,trans} \dots$ | [J] | Translationsenergie |
| $m \dots$ | [kg] | Masse |
| $v \dots$ | [ms ⁻¹] | Geschwindigkeit |

$$E_{kin,rot} = \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (2.3.18)$$

| | | |
|---------------------|--------------------|-----------------------|
| $E_{kin,rot} \dots$ | [J] | Rotationsenergie |
| $I \dots$ | [mkg] | Trägheitsmoment |
| $\omega \dots$ | [s ⁻¹] | Winkelgeschwindigkeit |

Ein Jojo ist ein zylindrischer starrer Körper, der im Mittelteil eine schmale Verengung besitzt, an der eine Schnur befestigt ist. Der Faden wird mehrmals in der Verengung um den Zylinder gewickelt. Das Fadenende hält man in der Hand.

Lässt man den Zylinder fallen, so beginnt er sich zu drehen und bewegt sich nach Erreichen der Schnurlänge l wieder nach oben bis zur Hand, wobei sich die Schnur wieder aufwickelt.

Energiebetrachtung:

Lässt man den Zylinder fallen, so wird er durch die Gravitationskraft nach unten beschleunigt. Dabei wandelt sich seine potentielle Energie in kinetische, die hier aus Translations- und Rotationsenergie besteht, um.

Nach dem Energieerhaltungssatz (2.3.15) gilt:

$$mgl - \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}I\omega^2 = 0 \quad (2.3.19)$$

Die Gravitationskraft $F = -mg$ versetzt den Körper in Translation und Rotation.

Beim frei fallenden Jojo wandelt sich die potentielle Energie (2.3.16) bis zum Schnurende vollständig in Translationsenergie (2.3.17) um. Nun wird der Zylinder von der Schnur gestoppt. Er wandelt seine gesamte kinetische Energie durch Deformation der Schnur in Wärmeenergie um und bleibt am Schnurende hängen.

Beim aufgerollten Jojo geht ein Teil der potentiellen Energie auch in Rotationsenergie über. Das Jojo fällt langsamer.

Hält man die Hand ganz ruhig, so kommt der Zylinder nicht mehr ganz bis zur Hand hoch. Der Grund sind Energieverluste durch Reibung und Schnurdeformationen.

Will man, dass das Jojo wieder ganz nach oben kommt, muss dem System von außen Energie zugeführt werden. Dies geschieht, indem man die Schnur mit der Hand nach oben beschleunigt. Diese Beschleunigung muss während der Bewegung nach unten geschehen, da man sonst der Drehbewegung entgegenwirken und das Jojo bremsen würde.

Was passiert mit der Translationsenergie?

Im Fall des frei fallenden Jojos wird die gesamte Translationsenergie über die Deformation der Schnur in Wärme umgewandelt.

Anders beim aufgewickelten Jojo: Die Translationsenergie wird während der letzten Vierteldrehung bis zum Erreichen des Schnurendes in Rotationsenergie umgewandelt. Hier endet die geradlinige Bewegung nach unten.

Bemerkung

Die meiste Energie kann dem Jojo während der letzten Vierteldrehung zugeführt werden.

Potentialtopf

Material

- ✓ Kugel
- ✓ Schüssel

Durchführung

Man legt die Kugel an den Rand der Schüssel und lässt sie so hineinfallen, dass die Kugel in die Schüssel rollt.



Abb. 2.3 6

Beobachtung

Die Kugel schafft es nicht auf der anderen Seite der Schüssel die Ausgangshöhe wieder zu erlangen.

Physikalischer Hintergrund

Die kinetische Energie setzt sich aus Translations- (2.3.17) und Rotationsenergie (2.3.18) zusammen. Beide erreichen im Durchgangspunkt der Ruhelage ihr Maximum und sind an den Umkehrpunkten vollständig in potentielle Energie umgewandelt.

Es gilt wieder der Energiesatz (2.3.15). Aufgrund auftretender Reibung erreicht die Kugel die Ausgangslage nicht mehr. Eine gedämpfte Schwingung ist beobachtbar (gedämpfter harmonischer Oszillator).

Bemerkung

Die Schüssel stellt einen Potentialtopf dar. Aus einer vorgegebenen potentiellen Energie kann man durch Differentiation auch eine Kraft erhalten.

Für ein allgemeines eindimensionales Potential gilt für die geleistete Arbeit annähernd:

$$\Delta W = (\bar{F}_x \Delta \bar{x}) = E_{pot}(x) - E_{pot}(x + \Delta x) \quad (2.3.20)$$

Dabei ist $E_{pot}(x)$ eine beliebige differenzierbare Funktion der x-Koordinate. (Abb. 2.3. 7)

Durch den Grenzübergang erhält man den exakten Wert der Kraft in x – Richtung.

$$\bar{F}_x = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{E_{pot}(x) - E_{pot}(x + \Delta x)}{\Delta x} \hat{x} = - \frac{dE_{pot}}{dx} \hat{x} = -grad E_{pot}(\bar{x}) \quad (2.3.21)$$

Die Kraft ist proportional zur Steigung der Tangente $\tan \alpha$.

Bei gegebener potentieller Energie ist also die Kraft deren negativ genommener Gradient.

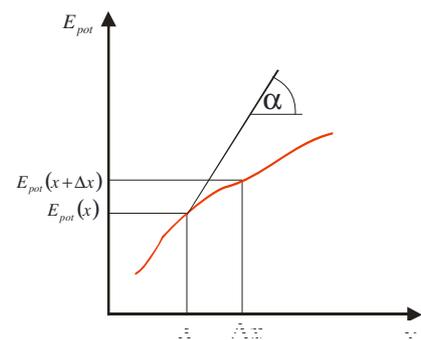


Abb. 2.3 7

Der Kugeltanz

Material

- ✓ Elastische Kugel
- ✓ Stabile Unterlage, Ambos

Durchführung

Die elastische Kugel wird aus einer Höhe h auf die Unterlage fallen gelassen.

Beobachtung

Die Kugel hüpft auf und ab, die Amplitude wird dabei laufend kleiner.

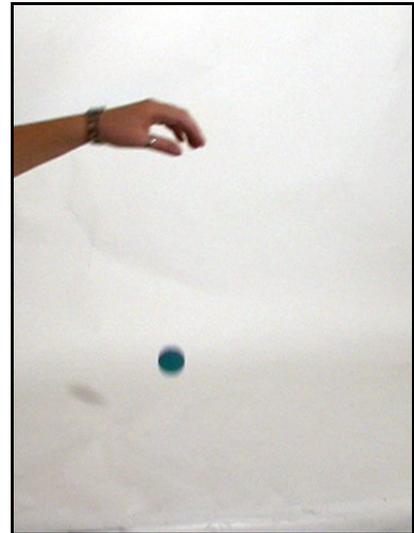


Abb. 2.3 8

Physikalischer Hintergrund

Beim freien Fall verrichtet das Gewicht $G = mg$ eines Körpers die Beschleunigungsarbeit (2.3.6). Da Energieerhaltung (2.3.15) gilt, erhalten wir für die Endgeschwindigkeit v :

$$v = \sqrt{2gh} \quad (2.3.22)$$

Mit der zugehörigen kinetischen Energie (2.3.17) vermag der Körper beim Aufprall auf eine Unterlage sich selbst und die Unterlage elastisch zu verformen und seine kinetische in potentielle Energie zu verwandeln. Diese wird durch Entspannen der verformten Körper in kinetische zurückverwandelt. Der Körper steigt, bekommt abermals potentielle Energie usw. So entsteht der Kugeltanz. Mit einer berußten Glasplatte kann die Abplattung gut erkennbar gemacht werden.

Verformungen nennt man elastisch, wenn der mechanische Energiesatz erfüllt ist. Es wird aber immer ein Bruchteil der mechanischen Energie in die Energie unsichtbarer Bewegungsvorgänge der Moleküle d.h. Wärme verwandelt. Beim Kugeltanz erreicht die Kugel nie ganz die ursprüngliche Höhe.

Das Münzenkatapult

Material

- ✓ Holzleiste, Lineal
- ✓ Stift
- ✓ 2 gleiche Münzen

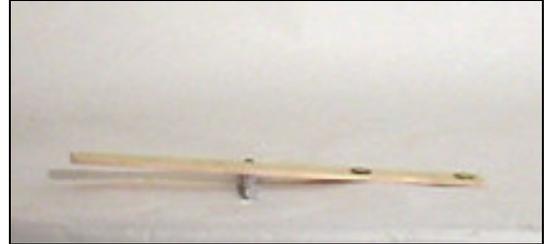


Abb. 2.3 9

Durchführung

Eine etwa 30 cm lange Holzleiste wird quer auf einen Stift gelegt, sodass auf einer Seite des Stiftes ca. 10 cm der Leiste überstehen. Auf die andere Seite legt man in 10 cm und 20 cm Abstand vom Stift je ein Geldstück auf die Leiste. Nun schlägt man mit der Hand kräftig auf das kurze Ende der Leiste.

Beobachtung

Die beiden Geldstücke werden in die Luft geschleudert. Die Münze, die 20 cm vom Stift entfernt war, fliegt dabei ungefähr viermal so hoch wie die andere.

Physikalischer Hintergrund

Die beiden Münzen verlassen die Leiste in dem Augenblick, in dem die Leiste auf der anderen Seite des Stiftes die Unterlage berührt. Die Zeitdauer der Beschleunigung ist daher für beide Münzen gleich lang. In dieser Zeit legt die Münze, die doppelt so weit vom Stift entfernt ist, eine doppelt so lange Wegstrecke zurück, als das näher gelegene Geldstück. Dadurch besitzt die weiter entfernte Münze beim Verlassen der Holzleiste eine doppelt so hohe Geschwindigkeit. Die kinetische Energie, die eine Münze beim Verlassen der Holzleiste besitzt, wird dabei in potentielle Energie umgewandelt.

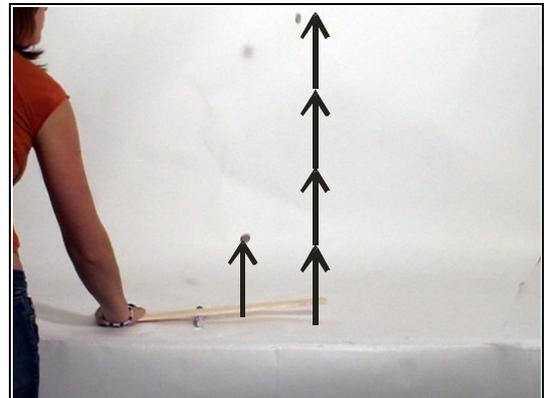


Abb. 2.3 10

Bemerkung

Mit Hilfe dieses Versuchs lässt sich die Proportionalität zwischen kinetischer Energie und dem Quadrat der Geschwindigkeit demonstrieren.

Streichholzschachtel und Schlüsselbund

Material

- ✓ Ein leichter und ein schwerer Gegenstand (z.B. eine Streichholzschachtel und ein Schlüsselbund)
- ✓ Ein Stab (z.B. ein langer Stift, ein Rohr, ein Kochlöffel etc.)
- ✓ Faden von ca. 1 m Länge

Durchführung

Als Erstes bindet man die beiden Gegenstände an den Enden des Fadens gut fest. Dann hält man die Stange in Augenhöhe waagrecht vor sich und legt den Faden darüber. Dabei hält man den leichteren Gegenstand mit der zweiten Hand fest und zieht den schwereren Gegenstand bis knapp unter den Stab hoch. Der leichte Gegenstand sollte ganz flach gehalten werden, so wie man es auf dem Bild sieht. Dabei muss man allerdings darauf achten, dass besonders leichte Gegenstände nie über den Stab gehalten werden sollten. Nun lässt man den leichteren Gegenstand einfach los und schaut was passiert.



Abb. 2.3 11

Beobachtung

Viele würden meinen, dass der schwere Gegenstand nach unten fällt und auch den leichten mitzieht und beide auf den Boden knallen. Der schwere Gegenstand fällt zwar zu Boden, aber der leichtere wickelt den Faden um den Stab und das Ganze kommt zum Stehen.

Physikalischer Hintergrund

Der leichte Gegenstand funktioniert vorerst wie ein Pendel. Wäre der Faden einfach am Stab befestigt, würde der Gegenstand einfach hin und her schwingen, dabei würde er annähernd dieselbe Höhe wieder erreichen.

Die Geschwindigkeit, mit der er schwingt, hängt jedoch von der Länge des Fadens ab. Die Länge wird jedoch durch den Fall des schweren Gegenstands verkürzt, sodass die Zündholzschachtel schneller zu schwingen beginnt.

Das heißt, der Faden, an dem der leichte Gegenstand pendelt, wird immer kürzer und in der Folge auch immer schneller. Deshalb gewinnt er ebenfalls an Höhe. Er fliegt über den Stab hinüber bis auf die andere Seite, wo er nun wieder Schwung holt und wieder schwingt.

Der Vorgang wiederholt sich so lange, bis die Kraft mit der der schwerere Körper am Faden zieht nicht mehr ausreicht, um den anderen Gegenstand weiter zu ziehen.

Die zurückkommende Dose

Material

- ✓ Dose
- ✓ Gummiband, Gummiring
- ✓ Muttern
- ✓ Schnur
- ✓ Nägel



Abb. 2.3 12

Durchführung

In den Deckel und Boden der Dose macht man ein kleines Loch. Am besten funktioniert das mit einem Nagel und einem Hammer. Durch die beiden Löcher wird das Gummiband gezogen und außerhalb mit Hilfe der Nägel fixiert. In der Mitte des Gummiringes wird ein kleines Gewicht befestigt. Der Deckel wird nun wieder auf die Dose gesetzt und befestigt, damit er nicht verrutschen kann. Die beiden Löcher in Boden und Deckel sollten genau übereinander sein und der Gummi muss straff gespannt werden.

Nun setzt man die Dose auf einen harten Untergrund und gibt ihr einen Stoß. Die Dose beginnt zu rollen.

Beobachtung

Die Dose rollt, kommt zum Stillstand, bleibt jedoch nicht am Ende liegen, sondern beginnt in die entgegengesetzte Richtung zurückzurollen. Sie kommt auch nicht am Startpunkt zur Ruhe, sondern rollt darüber hinaus und kommt wiederum zum Stillstand und dreht die Richtung um. Das Ganze wiederholt sich so lange, bis die Dose endgültig zum Stillstand kommt.

Physikalischer Hintergrund

Die Schwerkraft bewirkt, dass die Mutter die Rollbewegung nicht mitmacht. Sie hängt senkrecht unter dem Gummi und verwindet diesen bei jeder Umdrehung. Kommt die Dose zur Ruhe, ist damit ihre kinetische Energie gleich Null. Die Energie steckt nun mit Ausnahme der Roll- bzw. Reibungsverluste im verdrehten Gummiring. Durch diese Verdrehung wird im Gummi eine Kraft wirksam, die die Rückwärtsbewegung verursacht.

In Folge der Trägheit dieses Systems rollt die Kugel über den ursprünglichen Startpunkt, an dem der Gummi wieder entspannt ist, hinaus. Die Energie steckt nun wieder in der Rollbewegung der Dose. Der Gummi verwindet sich in umgekehrter Richtung. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis die gesamte mechanische Energie, die der Dose am Beginn des Versuchs mitgegeben wurde, durch Reibung bzw. Rollverluste irreversibel in Wärme umgewandelt ist.

Erhaltung der Energie anhand eines Fadenpendels

Material

- ✓ Fadenpendel

Durchführung

Das Fadenpendel wird festgehalten. Nun wird das Pendel aus der Ruhelage gebracht und losgelassen. Nach einigen Schwingungen hält man von hinten den Finger gegen die Pendelschnur, sodass die Länge verkürzt wird.



Abb. 2.3 13

Beobachtung

Das Pendel erreicht trotz verkürzter Länge mühelos seine Ausgangshöhe.



Abb. 2.3 14

Physikalischer Hintergrund

Wird ein Pendelkörper aus der Ruhelage gebracht, so gewinnt er potentielle Energie (2.3.16). Wird das Pendel losgelassen, so schwingt er mit wachsender Geschwindigkeit gegen die Ruhelage und gewinnt Bewegungsenergie (2.3.17), die beim Durchgang durch die Ruhelage ihr Maximum erreicht. Ab dem Durchgangspunkt wird aus der kinetischen Energie wiederum potentielle Energie. Die kinetische Energie in der Ruhelage reicht genau aus, um den Pendelkörper in seine Ausgangshöhe h zu heben, also um die Arbeit (2.3.4) zu verrichten. Das erweist sich auch bei Änderung des Verlaufs der Schwingung als richtig.

2.4 Kraftstoß – Impuls

Ähnlich wie die Energie ist auch der Impuls ein abstrakter Begriff, der aus der Physik erhalten wurde. Auch in diesem Kapitel beschäftigen wir uns vorwiegend mit einem Erhaltungssatz, der unentbehrlich für die Beschreibung eines Systems wechselwirkender Körper ist.

Der Begriff des Impulses wird aus der Newtonschen Grundgleichung hergeleitet.

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (2.4.1)$$

| | | |
|-----------------|---------------------|----------------|
| $\vec{F} \dots$ | [N] | Kraft |
| $m \dots$ | [kg] | Masse |
| $\vec{a} \dots$ | [ms ⁻²] | Beschleunigung |

Aus dem Produkt aus Kraft und Zeit erhalten wir über ein bestimmtes Zeitintervall den Kraftstoß. Wir definieren diesen folgendermaßen:

$$\vec{K} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt = \int_{t_1}^{t_2} m\vec{a}(t) dt = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 \quad (2.4.2)$$

| | | |
|-------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| $\vec{K} \dots$ | [kgms ⁻²] | Kraftstoß |
| $\vec{v}_1 \dots$ | [ms ⁻¹] | Geschwindigkeit zum Zeitpunkt t_1 |
| $\vec{v}_2 \dots$ | [ms ⁻¹] | Geschwindigkeit zum Zeitpunkt t_2 |

Das Zeitintegral der Kraft auf einen Körper ist also gleich der Änderung des Produkts aus Masse und Geschwindigkeit des Körpers. Dieses Produkt wird der Impuls eines Körpers genannt.

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (2.4.3)$$

| | | |
|-----------------|-----------------------|--------|
| $\vec{p} \dots$ | [kgms ⁻¹] | Impuls |
|-----------------|-----------------------|--------|

Mit Hilfe dieser Definition kann nun das Newton'sche Kraftgesetz auch so geschrieben werden:

$$\vec{F} = \dot{\vec{p}} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) \quad (2.4.4)$$

In dieser Form ist das Newton'sche Kraftgesetz auch noch für relativistische Geschwindigkeiten gültig. Kraftstoß und Impuls sind gerichtete, also vektorielle Größen.

Der Impuserhaltungssatz oder Impulssatz eines abgeschlossenen Systems lautet:

In einem abgeschlossenen System ist die Summe aller Impulse konstant.

$$\sum_i \vec{p}_i = const. \quad (2.4.5)$$

Impulsübertragung

Material

- ✓ Pendel
- ✓ Hammer
- ✓ Stab

Durchführung

Das Pendel wird an der Decke befestigt oder von einer zweiten Person gehalten. Der Stab wird nun so gehalten, dass er das Pendel berührt. Man schlägt nun mit dem Hammer gegen den Stab.



Abb. 2.4 1

Beobachtung

Das Pendel wird ausgelenkt.

Physikalischer Hintergrund

Es kommt zu einer Impulsübertragung von Hammer über den Stab auf das Pendel.

Rückstoß mit dem Föhn

Material

- ✓ Brett
- ✓ Föhn
- ✓ Stück Karton, ungefähr gleiche Größe wie das Brett
- ✓ Einige runde Gegenstände mit gleichem Durchmesser
- ✓ Nägel, Schrauben

Durchführung

Zunächst fixiert man den Föhn mit Hilfe der Nägel so am Brett, dass dieser beim Einschalten nicht vom Brett fällt. (Abb. 2.4. 3)

Das Brett wird auf die Rollen gesetzt, dann der Föhn eingeschaltet. Am besten man steckt den Föhn an und beobachtet was passiert. Danach befestigt man den Karton am Brett, dass dieser ein Segel für das Brett darstellt. Der Föhn wird wieder eingeschaltet. (Abb. 2.4. 4)

Beobachtung

Befindet sich kein „Segel“ am Brett, weicht dieses nach hinten aus. Hat man nun aber den Karton am Brett befestigt, rührt sich das Brett trotz „starkem Wind“ nicht von der Stelle.

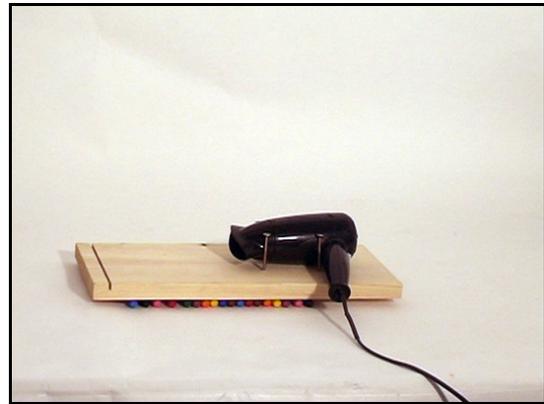


Abb. 2.4 2

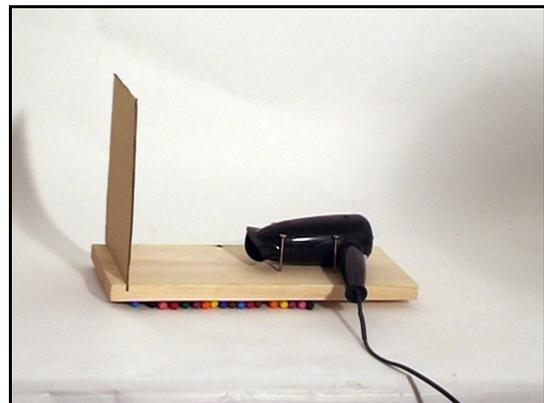


Abb. 2.4 3

Impulserhaltung

Material

- ✓ Spielzeugauto mit aufziehbarem Federantrieb
- ✓ Brett
- ✓ Runde Gegenstände mit gleichem Durchmesser
- ✓ Tisch

Durchführung

Die Stifte werden so am Tisch verteilt, dass das Brett darauf eine gewisse Strecke rollen kann. Danach legt man das Brett auf die Stifte und setzt das aufgezogene Auto auf das Brett.

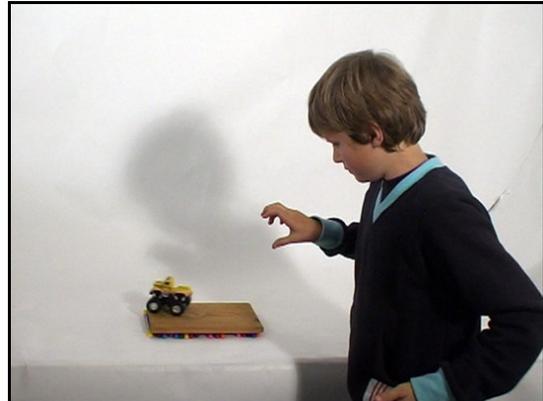


Abb. 2.4 4

Beobachtung

Das Auto und das Brett bewegen sich in entgegengesetzten Richtungen.

Die Kartoffelschleuder

Material

- ✓ 1 Holzbrett (ca. 10x10 cm)
- ✓ 1 Gummiring
- ✓ 1 kleine Kartoffel
- ✓ Nägel oder Schrauben
- ✓ Mehrere runde Gegenstände mit gleichem Durchmesser (Stifte)
- ✓ Hammer
- ✓ Zwirn
- ✓ Feuerzeug
- ✓ Tisch

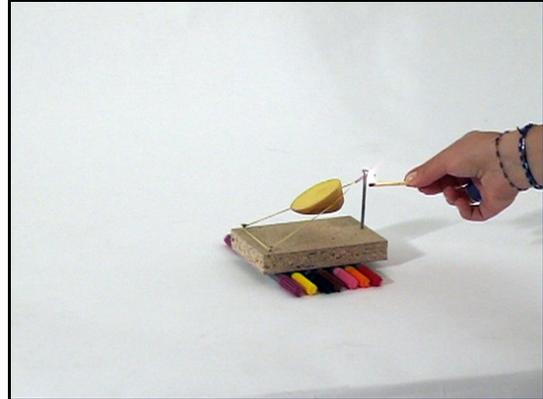


Abb. 2.4 5

Durchführung

Mit dem Hammer werden drei Nägel in das Brett geschlagen, sodass sie die Form eines “Vs“ bilden. Über die beiden vorderen Nägel wird nun ein Gummiring gespannt. Nun zieht man den Gummiring in die Richtung des hinteren Nagels und befestigt ihn mit Hilfe eines Zwirns am Nagel. Der Gummiring sollte dabei gut gespannt sein. Die runden Stifte legt man im Abstand einiger Millimeter auf den Tisch und gibt das Holzbrett drauf. In das vom Gummiring gebildete Dreieck legt man nun die Kartoffel. Der Zwirn wird mit dem Feuerzeug durchgebrannt.

Beobachtung

Die Kartoffel wird nach vorne geschleudert, während das Brett auf den Stiften nach hinten rollt.

Physikalischer Hintergrund

Alle Kräfte treten paarweise auf, es gilt $actio = reactio$. Die Kräfte sind gleich groß aber entgegengesetzt gerichtet.

Ähnlich wie bei einem Boot erfährt das Brett einen Rückstoß. Da es sich um ein abgeschlossenes System handelt, gilt hier die Impulserhaltung (2.4.5). Die Kartoffel erfährt einen Impuls nach vorne. Um den Impuls des Systems konstant zu halten weicht das Brett nach hinten aus.

Bemerkung

Die Kartoffel hält besser in der Schleuder, wenn man vorher mit einem Messer einige Kerben in die Kartoffel schnitzt.

Die Ballon-Rakete

Material

- ✓ Luftballon
- ✓ Strohhalm, möglichst ohne Gelenk
- ✓ Klebeband
- ✓ Faden

Durchführung

Der Faden wird durch einen Strohhalm gefädelt und durch den Raum gespannt. Nun bläst man den Luftballon auf und befestigt ihn mit dem Klebeband am Strohhalm. Der Strohhalm und die Öffnung des Luftballons sollten dabei parallel zueinander sein. Der Ballon wird dann einfach losgelassen.

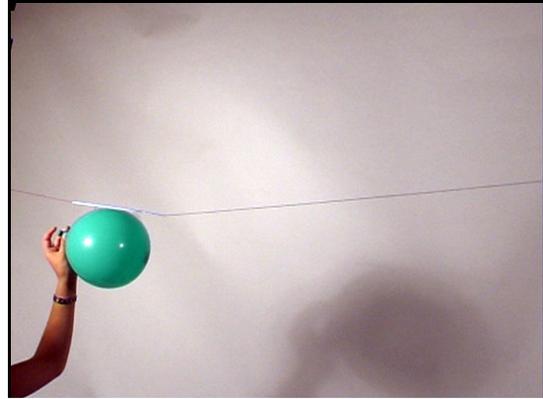


Abb. 2.4 6

Beobachtung

Der Ballon saust die Schnur entlang durch das Zimmer.

Physikalischer Hintergrund

Der Effekt beruht auf dem Prinzip des Rückstoßes. Vor dem Loslassen des Ballons ist sein Impuls Null. Strömt jedoch die im Luftballon enthaltene Luft aus dem Mundstück aus, so erfährt er einen Impuls in diese Richtung. Da von außen jedoch kein Impuls zugeführt wurde, muss der Gesamtimpuls des Ballons gleich Null bleiben. Deshalb erfährt die Ballonhaut und die sich noch darin befindende Luft einen entgegen gerichteten Impuls zur ausströmenden Luft. Der Ballon fliegt entlang der Schnur nach vorne.

Bemerkung

Eine andere Möglichkeit wäre, den Strohhalm nicht parallel zur Ausströmungsrichtung der Luft aufzukleben, sondern einmal schräg (in einem Winkel von ca. 45°) und einmal senkrecht dazu.

Variante

Dasselbe kann man auch mit einem Luftballonauto zeigen.

Die Dose als Dampfturbine

Material

- ✓ Getränkedose
- ✓ Klebeband
- ✓ Bunsenbrenner oder andere starke Wärmequelle
- ✓ Faden
- ✓ Nagel, Hammer

Durchführung

In die Mantelfläche der Dose werden mit Hilfe des Nagels und des Hammers auf mittlerer Höhe zwei Löcher geschlagen und die Flüssigkeit ausgeleert. Danach werden zwei weitere Löcher gemacht. Der Nagel wird in jedes Loch geführt und etwas nach außen gebogen. In die Dose füllt man ein wenig Wasser und fixiert den Faden auf der Oberseite der Dose. Danach wird die Dose über den Bunsenbrenner gehalten.



Abb. 2.4 7

Beobachtung

Nach einer Weile beginnt das Wasser zu kochen und strömt aus den Öffnungen. Die Dose beginnt sich zu drehen.

Physikalischer Hintergrund.

Das Wasser in der Dose wird durch den Bunsenbrenner so stark erhitzt, dass es zu sieden beginnt und verdampft. Durch den Vorgang des Verdampfens wird der Druck in der Dose erhöht. Da der Dampf nur über die Löcher im Mantel der Dose entweichen kann, wirken diese wie Düsen. Auf Grund der Impulserhaltung wirkt auf die Düsen beim Ausströmen des Dampfes eine Kraft, die der Ausströmrichtung entgegen wirkt. Durch Aufbiegen der Löcher strömt der Dampf nicht senkrecht zur Dosenwand aus. So wirkt durch die Rückstoßkräfte ein Drehmoment auf die Dose. Als Rotationsachse dient hierbei die Aufhängung am Faden. Die Dose beginnt sich zu drehen, bis die rücktreibende Kraft zu groß bzw. das gesamte Wasser verdampft ist.

Variante

Man kann aus der Dose auch ein Wasserrad basteln. Am unteren Ende des Dosenmantels werden drei bis vier Löcher in die Dose geschlagen. In diese werden Strohhalme gesteckt und abgedichtet. Das Gelenk der Strohhalme soll dabei immer in die gleiche Richtung weisen. Auf der Oberseite befestigt man wiederum einen Faden. Man hält die Dose am Faden fest und gießt in die Öffnung Wasser.

Bemerkung

Bereits vor mehr als 2000 Jahren hat Heron von Alexandria (Mechanicus) ein antiker Mathematiker und Ingenieur die Aeolipile, auch Äolsball oder Heronsball genannt, erfunden. Darunter versteht man eine Maschine, die die Expansionskraft von Wasserdampf und das Rückstoßprinzip demonstrieren soll. (Abb. 2.4. 8)³

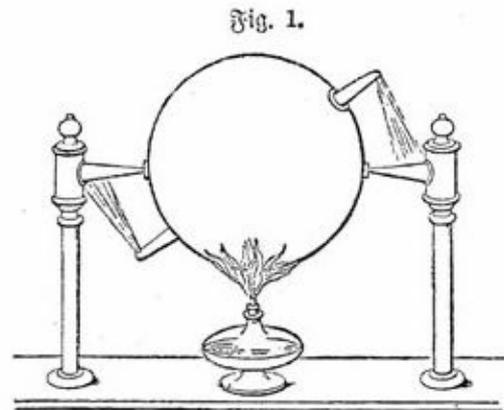


Abb. 2.4 8

³ Quelle: <http://www.netzwelt.de/images/lexikon/e6def6477ee2a21c6f3290f42a92cc21.jpg>

Die Streichholzrakete

Material

- ✓ Streichhölzer
- ✓ Alufolie
- ✓ Schere
- ✓ Dünner Draht, Stecknadel
- ✓ Büroklammer
- ✓ Feuerzeug

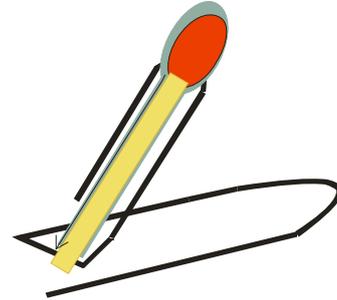


Abb. 2.4 9

Durchführung

Aus der Alufolie wird ein ca. 3 x 6 cm großes Stück ausgeschnitten. Den dünnen Draht presst man an das Streichholz und umwickelt es fest mit der Folie. Der Streichholzkopf soll dabei völlig verschwinden. Die Folie wird mit den Fingernägeln ganz eng an den Draht gepresst, sodass bei vorsichtigem Herausziehen des Drahtes ein enger Kanal entsteht.

Die Folie wird am Streichholzkopf gut zusammengedrückt.

Die Büroklammer wird so gebogen, dass sie als Startrampe dienen kann und die Rakete wird auf der Rampe positioniert. (Abb. 2.4. 9)

Mit einem entzündeten Streichholz oder Feuerzeug wird nun der Kopf der Rakete solange erhitzt, bis er zündet. Die bei der „Explosion“ des Streichholzes entstehenden Gase entweichen durch den engen Kanal nach unten.

Beobachtung

Die Rakete hebt von der Rampe ab.

Physikalischer Hintergrund

Die nach unten austretenden Gase erzeugen einen kurzen, aber kräftigen Rückstoß.

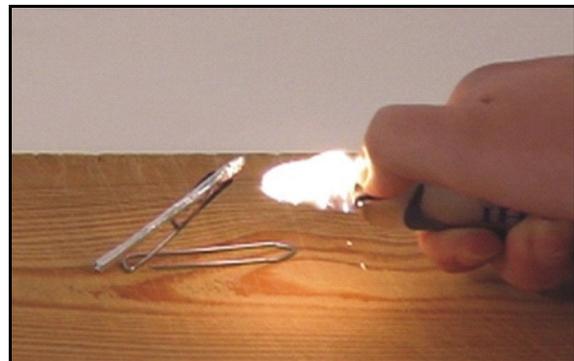


Abb. 2.4 10

2.5 Stoßvorgänge – Anwendung von Energie- und Impulssatz

Als „Stoß“ wird eine kurzzeitige Krafteinwirkung zwischen zwei relativ zueinander bewegten Körpern bezeichnet. Die dabei entstehenden Bewegungsänderungen können mit Hilfe der beiden Erhaltungssätze beschrieben werden.

| Elastischer Stoß | Unelastischer Stoß |
|--|--|
| Die gesamte kinetische Energie der stoßenden Körper bleibt erhalten. Es gilt daher neben dem Impulssatz auch der Energiesatz der Mechanik. | Es gilt wohl der Impulssatz, in der Regel jedoch nicht der Energiesatz der Mechanik. Ein bestimmter Energieanteil der Stoßpartner wird in Wärme oder in eine andere, nicht makrokinetische Energie verwandelt. |

Im makroskopischen Bereich auf der Erde gibt es praktisch keine vollkommen elastische und nur selten vollkommen unelastische Stoßvorgänge, sehr wohl jedoch im atomaren Bereich.

| | |
|---|---|
| Gerader Stoß | Schiefer Stoß |
| Die Geschwindigkeitsvektoren der Körper vor und nach dem Stoß liegen auf einer Geraden. | Die Geschwindigkeitsvektoren liegen auf keiner Geraden. |
| Zentraler Stoß | Nichtzentraler Stoß |
| Die Flächennormale der Berührungsfläche geht durch die Massenmittelpunkte beider Körper. Dies ist bei Kugeln immer der Fall. Es dürfen aber auch hier keine Drehbewegungen übertragen werden. | Nebenstehendes ist nicht erfüllt. Es treten Kräftepaare und daher Drehbewegungen auf. Der Drehimpulssatz muss zusätzlich berücksichtigt werden. |

Der elastische Stoß

Material

- ✓ Mehrere Münzen
- ✓ Eventuell Overheadprojektor

Durchführung

Eine Münze wird auf einen glatten ebenen Tisch gelegt. Mit dem Finger schnippt man nun eine weitere gleiche Münze dagegen.



Abb. 2.5 1

Beobachtung

Das zweite Geldstück bleibt an der Stoßstelle liegen, während das erste mit der Geschwindigkeit des anstoßenden weiterrutscht.

Durchführung

Nun werden mehrere Münzen so in eine Reihe gelegt, dass sie einander berühren. Jetzt stoßt man eine weitere Münze zentral gegen diese Kette.

Beobachtung

Die letzte Münze rutscht mit fast gleich hoher Geschwindigkeit davon.

Durchführung

Nun legt man eine schwere Münze, etwa eine 2 € Münze auf den Tisch und stößt eine kleine leichte Münze (1 Cent) dagegen.

Beobachtung

Die 2 € Münze rührt sich kaum von der Stelle, während das 1 Cent- Stück zurückgestoßen wird.

Durchführung

Nun wird die kleine Münze auf den Tisch gelegt und mit der großen beschossen.

Beobachtung

In diesem Fall bewegen sich beide Münzen in Stoßrichtung weiter.

Bemerkung

Besonders deutlich können diese Stoßvorgänge gemacht werden, wenn man die Münzen auf einen Overheadprojektor legt und diese so zeigt.

Physikalischer Hintergrund

Bei diesen Versuchen handelt es sich um gerade, zentrale Stöße. Es gilt sowohl der Impulssatz, als auch der Energiesatz der Mechanik.

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 \quad (2.5.1)$$

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2} \quad (2.5.2)$$

| | | |
|--------------------|---------------------|---------------------------------|
| $m_{i=1,2} \dots$ | [kg] | Masse der Münzen |
| $v_{i=1,2} \dots$ | [ms ⁻¹] | Geschwindigkeiten vor dem Stoß |
| $v'_{i=1,2} \dots$ | [ms ⁻¹] | Geschwindigkeiten nach dem Stoß |

Aus den beiden Erhaltungssätzen erhält man für die Geschwindigkeiten v'_1, v'_2 , sofern die übrigen Größen bekannt sind.

$$v'_1 = v_1 \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} + v_2 \frac{2m_2}{m_1 + m_2} \quad (2.5.3)$$

bzw.
$$v'_2 = v_1 \frac{2m_1}{m_1 + m_2} + v_2 \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}. \quad (2.5.4)$$

Diese Beziehungen vereinfachen sich, wenn man die Geschwindigkeit der gestoßenen Masse m_2 vor dem Stoß mit Null annimmt.

$$v'_1 = v_1 \frac{\frac{m_1}{m_2} - 1}{\frac{m_1}{m_2} + 1} \quad (2.5.5)$$

bzw.
$$v'_2 = v_1 \frac{2}{1 + \frac{m_2}{m_1}}. \quad (2.5.6)$$

Bezüglich des Masseverhältnisses der beiden Stoßpartner unterscheidet man hier zweckmäßig drei Fälle: wobei sich die Masse m_1 mit einer Geschwindigkeit v_1 auf die ruhende Masse m_2 zu bewegt.

• $m_1 = m_2$

$$\Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = 1 \quad \Rightarrow v_1' = 0; \quad v_2' = v_1 \quad (2.5.7)$$

Das heißt, dass die Masse m_1 zum Stillstand kommt, während sich die Masse m_2 mit der Geschwindigkeit v_1 weiterbewegt.

• $m_1 > m_2$

$$\Rightarrow \frac{m_1}{m_2} > 1 \quad \Rightarrow v_1' < v_1; \quad v_2' > v_1 \quad (2.5.8)$$

Das Masseverhältnis ist größer als 1. Beide Körper bewegen sich gemeinsam in Stoßrichtung weiter.

• $m_1 < m_2$

$$\Rightarrow \frac{m_1}{m_2} < 1 \quad \Rightarrow v_1' < 0 \quad |v_1'| < |v_1| \quad (2.5.9)$$

$$v_2' > 0 \quad |v_2'| < |v_1|$$

Es kommt dabei zu einer Richtungsumkehr der Bewegung, die Masse m_1 wird reflektiert.

Variante

Anstelle von Münzen können auch Kugeln verwendet werden. Dabei sollte man jedoch darauf achten, dass diese entlang einer Schiene geschossen werden.

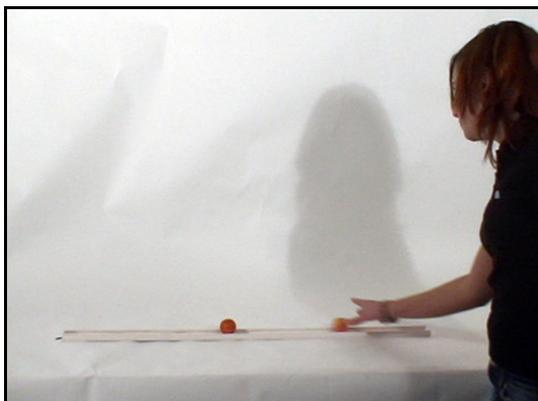


Abb. 2.5 2

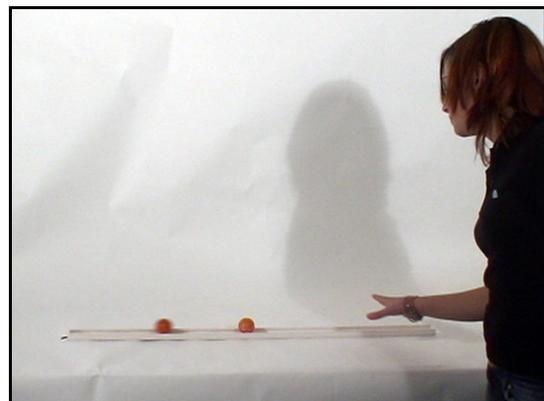


Abb. 2.5 3

Hupfbälle

Material

- ✓ zwei verschieden schwere Bälle

Durchführung

Zwei verschieden schwere Bälle werden so aufeinander gelegt, dass der Leichtere oberhalb des Schwereren und die beiden Schwerpunkte in etwa senkrecht übereinander liegen. Nun werden die Bälle aufgehoben und fallen gelassen.

Beobachtung

Während der untere Ball nur eine geringe Höhe erreicht, wird der obere Ball hoch in die Luft geschleudert.

Physikalischer Hintergrund

Der untere Ball schlägt vor dem oberen am Boden auf und wird im Idealfall reibungslos reflektiert. Danach stoßen sich die beiden Bälle elastisch. Ist der untere Ball dreimal schwerer als der obere Ball, so erreicht der obere Ball etwa das Vierfache der Ausgangshöhe. Zur Erklärung dieses Sachverhaltes sind sowohl Impulserhaltung und Energieerhaltung notwendig.

Bemerkung

Tatsächlich wandelt der untere Ball durch Reibung beim Aufprall am Boden und beim Stoß mit dem anderen Ball einen Teil der kinetischen Energie in innere Energie und Wärme um, deshalb ist der Stoß nicht vollkommen elastisch.



Abb. 2.5 4



Abb. 2.5 5

Biographie

- [1] HAHN H. (1905); Physikalische Freihandexperimente Band 1, Verlag Otto Salle Berlin S. IV
- [2] HEYDER W. (1967); Die Stellung des Freihandversuchs im System der Experimente des Physikunterrichts und seine Bedeutung für die Entwicklung des Erkenntnisvermögens der Schüler;
Dissertation am Pädagogischen Institut Güstrow der Universität Rostock; S. 42-43
- [3] KORN B. (1981); Der Freihandversuch in der Sekundärstufe I; Hausarbeit am Institut für Didaktik der Physik der Universität Siegen; S. 27
- [4] HIRSCHLER H. (1998), Physikalische Freihandexperimente Band 1 Mechanik, Aulis Verlag Deubner, S. 117

Literaturverzeichnis

- Skriptum zur Vorlesung Experimentalphysik 1, Prof. Dr. H. Jäger, Institut für Experimentalphysik Technische Universität Graz, 25. Auflage, 2000
- Repetitorium Experimentalphysik, Ernst W. Otten, Springer Verlag, 1998
- Gerthsen Physik, Helmut Vogel, Springer Verlag, 19. Auflage
- Physikalische Freihandexperimente Band 1 Mechanik, Helmut Hirschler u.a., Aulis Verlag Deubner, 1998
- Physik 1, Dorn - Bader, E. Dorner, 2003

Nachwort

Als ich mich mit 14 Jahren für den Naturwissenschaftlichen Zweig im BORG Kindberg entscheiden wollte, waren von 60 Anmeldungen nur 3 Interessierte für diese Richtung - also musste ich damals den Informatikzweig wählen.

Durch das ständig steigende Bildungsangebot werden die Naturwissenschaften mehr und mehr zurückgedrängt. Ich finde das wirklich schade, weil die Naturwissenschaften zu interessant sind, um nur noch als Lückenfüller zu fungieren.

Vor allem der Bezug zum Alltag, der Gebrauch und die Nutzung verschiedenster physikalischer Vorgänge machen den Zugang zur Physik leichter.

Ich möchte mit dieser Arbeit den Lehrenden ein Hilfsmittel in die Hand geben, das schnell und leicht jederzeit und überall einsetzbar ist.

Ich möchte mithelfen den Stellenwert der Physik zu erhöhen und wenn es gelingt, dass die/der SchülerIn die Umwelt mit anderen Augen wahrnimmt und sich fragt was dahinter stecken könnte; wenn die/der LehrerIn, Anregungen für den Unterricht in dieser Arbeit findet - dann wurde das gesetzte Ziel erreicht.

Physik ist interessant – es liegt an uns, den Bildungsbeauftragten, das Interesse der Schüler zu wecken.

Ein herzliches Danke...

- ... Herrn Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gernot Pottlacher für die Möglichkeit, diese Diplomarbeit verfassen zu können und seine ausgezeichnete Betreuung.
- ... Herrn Dipl.-Ing. Dr. Claus Cargan und Dipl.-Ing. Dr. Boris Wilthan für ihre Hilfe in allen Bereichen.
- ... meinen Schauspielerinnen Julia Baumgartner, Andrea Feichtinger, und Nadine Gradwohl, sowie meinen Schauspielern Bernd Stelzer, Boris und Claus für die Geduld vor der Kamera.
- ... dem Fotografen Bernhard Konrad für die Scheinwerfer und die Studioausrüstung.
- ... meinen Freunden für ihr Verständnis, wenn ich wieder einmal keine Zeit für sie hatte.
- ... Erwin für die Hilfe am Computer während meiner gesamten Studienzzeit.
- ... Angelika, Grete und Ilse für das Korrekturlesen.
- ... meinem Freund Peter für die Ausdauer und Geduld, sowie für die vielen Bastelarbeiten, die er für meine Versuche erledigte und seiner Familie für ihre Unterstützung.
- ... meinen Eltern und Großeltern für die finanzielle und moralische Unterstützung während meiner Schul- und Studienzzeit.