

Physikalische Spielereien

mit ernstem Hintergrund

Christian Ucke

3.5.2006

Vortrag im Gymnasium Raubling

Was verstehe ich unter physikalischen Spielereien? Spielzeug bzw. Phänomene, die erkennbar einen physikalischen Hintergrund haben, bei denen zur Erklärung der Wirkungsweise Physik beiträgt. Im weiteren erklärt sich das durch die Beispiele, die ich zeige bzw. erwähne.

Mit physikalischem Spielzeug beschäftige ich mich seit etwa zwanzig Jahren mehr als Hobby. Mittlerweile findet dieses Hobby auch Eingang in Fortbildungsaktivitäten für Lehrer. Nicht nur in Deutschland besteht das Problem, dass Physik in der Schule ein ungeliebtes Fach ist. Spielzeuge stellen eine Möglichkeit dar, Interesse für physikalische Fragen zu wecken.

Ich zeige einige Spielzeuge bzw. Phänomene ohne lange physikalische Erklärung. Die meisten eignen sich auch für den Einsatz in der Schule. Sie demonstrieren auch die Bandbreite von Spielzeugen bzw. Objekten mit spielerisch-physikalischem Hintergrund. Am Ende werde ich etwas über Literatur zu physikalischen Spielzeugen erzählen, auch Hinweise wo man solche Objekte bekommt und auch auf links zu physikalischem Spielzeug im Internet eingehen.

Für fast alle Spielzeuge, die ich hier zeige finden sich ausführlichere Erklärungen auf meiner homepage.

Physikalisches Spielzeug?

FRM2 = Forschungsreaktor 2

Techn. Univ. München



Spielzeug für Große?

großes Spielzeug
für Physiker?

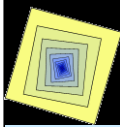
Physiker bezeichnen häufig ihre sehr teuren Geräte oder Forschungseinrichtungen als ihr 'Spielzeug'. Haben aber natürlich was anderes im Sinn als ein Kind. Ein spielerisches Element steht jedoch auch dahinter.

Große Rutsche

Fakultät für Mathematik
und Informatik in Garching



Diese große Rutsche aus dem dritten Stock ist die ‚Kunst am Bau‘ für das Gebäude der Fakultät Mathematik/Informatik der TU München in Garching



Museum ix-Quadrat

Fakultät für Mathematik und Informatik in Garching



Das kleine aber feine Museum ix-Quadrat lädt zum Besuch ein. Spielerisch und auch ernsthaft kann man sich mit mathematischen Fragestellungen befassen.

Obwohl ich ja über physikalische Spielereien sprechen möchte, erwähne ich dieses Museum hier, weil dahinter ein Kollege (Prof. Richter-Gebert) steht, der mit ähnlichem Engagement spielerische Mathematik vertritt.

Physikalisches Spielzeug

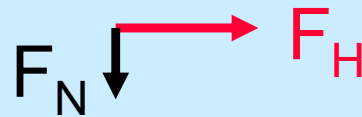
Mädchenfänger



Steckt man hier den Finger hinein, lässt er sich kaum noch herausziehen.
Das kann man sogar selbst flechten! Herausforderung für Eigenaktivität.

Medizinische Anwendung

Mädchenfänger/Extensionshülse



In der Chirurgie wird der 'Mädchenfänger' für Operationen am Handgelenk verwendet.

Offiziell heißt das Ding Extensionshülse, aber kein Chirurg benutzt das Wort.

Auch als Abschleppseil gibt es sowas.

Je stärker gezogen wird (Kraft F_H), um so mehr zieht sich das Geflecht zusammen und drückt senkrecht auf den Finger (F_N). Dann ist aber auch die Haftreibung größer.

Bei dem Mädchenfänger handelt es sich um einen kurzen Schlauch aus einem flexiblen Flechtgewebe.

In diesen Schlauch kann man einen Finger stecken, wenn man dann an dem Schlauch zieht, dann zieht sich dieser zusammen und hält den Finger gefangen.

So einen Mädchenfänger setzen die Chirurgen bei Unetrarmfrakturen dazu ein diese zumindest grob wieder zu richten, wenn sie Röntgen wollen und bevor der Arm eingegipst wird.

Dazu wird auf Daumen, Zeige- und Mittelfinger je ein Mädchenfänger gesetzt und diese Werden dann aufgehängt. So hängt der Arm exakt gerade herrunter und ein Bruch kann sich, durch den Zug an den Muskeln, selbst richten.

Normalerweise wird dabei sogar noch ein gewicht am Oberarm befestigt.

Technische Anwendung

Allzweckseil Quick bzw. Poly-Quick Schleppseil



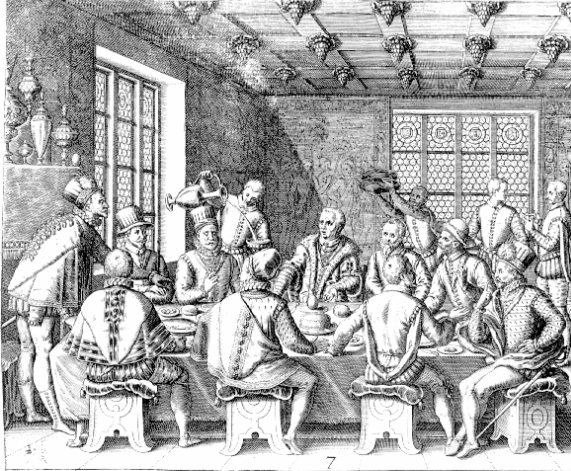
Hier ist ein Allzweckseil nach dem Prinzip des Mädchenfängers zu sehen.

Hohl geflochten kann man an jeder Stelle ein Ende hineinschieben und hat dann eine Schlaufe.

Abschleppfähigkeit bis 3 Tonnen!

Solche Seile gibt es manchmal sogar in Baumärkten günstig zu kaufen. Sonst über das Netz recherchieren

Columbus suos cachinnatores lepide in con- VII.
uiuio illudit.



Novo illo orbe à Columbo detecto, quum forte celebri conuiuio cum mul-
tis Nobilibus Hispanis ipse adhibitus esset. Et inter eos de India sermo or-
tus, cuius eorum ad Columbum conuersus, sic eum alloquitur. Tameñ
Indiam non reperisses, non defuissent tamen in hac nostra Hispania, qui
idem quod tu tentare potuissent: abundat enim ea magnis viris et ingenio-
Ad ea nihil respondens Columbus, ouum in ferri in mensam iacet, et omnes experiri
monet, ut faciant id nullo adminiculo fulsum, flans est erectum in mensam
neat: quam nulli succederet, ipse rationem qua id fieri
posset demonstrat.

Prima

Ei des Kolumbus

Fast jeder hat irgendwie schon vom Kolumbus-Ei als Synonym für eine kreative Lösung eines scheinbar unlösbaren Problems gehört. Aber die dazugehörige Geschichte ist meistens nicht genau bekannt. Ein kleines, schon länger vergriffenes Büchlein von Edi Lanners [5] führt die Anekdote aus: Anlässlich eines großen Gastmahls beim Kardinal Mendoza nach seiner erfolgreichen Entdeckungsreise behaupteten seine Neider, auch andere hätten diese Leistung vollbringen können. Kolumbus hätte darauf in der Runde die berühmte Frage aufgeworfen "Wer kann ein Ei auf die Spitze stellen?". Niemand schaffte es. Kolumbus stellte es dann mit eingedrückter Spitze auf die Tafel und beschämte so seine missgünstigen Landsleute.

Es ist nicht sicher, ob sich die Geschichte überhaupt und wenn dann so abgespielt hat. Hingegen berichtet Vasari [4] von dem italienischen Architekten Brunelleschi (1377-1446), dass dieser anlässlich einer Versammlung von Kollegen im Jahre 1420 mit dem beschriebenen Trick die Stabilität einer Kuppel in Eiform demonstrierte und daraufhin den Zuschlag für den Bau des Florentiner Doms mit seiner gewaltigen Kuppel bekam. Diese Version klingt ganz plausibel, da die Florentiner Domkuppel wirklich eine Eiform aufweist. Selbst Brunelleschi hatte vermutlich schon Vorgänger [4]. Letztlich ist es unerheblich, wer nun wirklich als erster die Idee hatte. Zum Erzählen beim Vorführen des Trickeis eignet sich die Anekdote vorzüglich.

Ei des Kolumbus

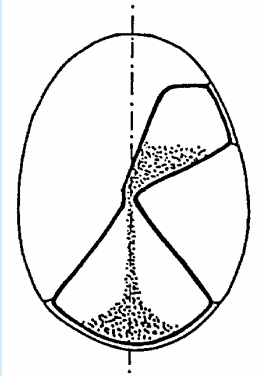


Trickei
mit Physik

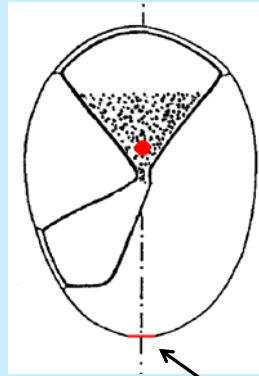


Ei des Kolumbus/Trickei

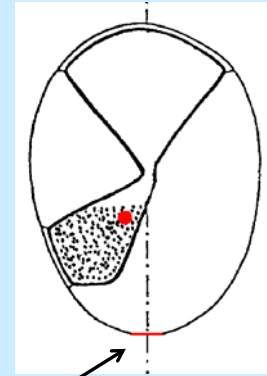
unsymmetrische
Sanduhr



Schwerpunkt über
Auflagefläche



Schwerpunkt neben
Auflagefläche



Im Inneren des Trickeis ist eine unsymmetrische Sanduhr eingebaut. Hält man das Trickei beim Erzählen der Geschichte über das Kolumbusei lange genug so herum, dass der gesamte Sand in den symmetrischen Teil der Sanduhr hineinläuft und dreht dann das Ei schnell genug um, lässt es sich stabil auf die Auflagefläche aufstellen. Der Sand läuft jedoch nach und nach in den unsymmetrischen Teil, wodurch der Schwerpunkt sich verschiebt und das Ei instabil wird.

Paradoxe Sanduhr



Plagiat aus Taiwan



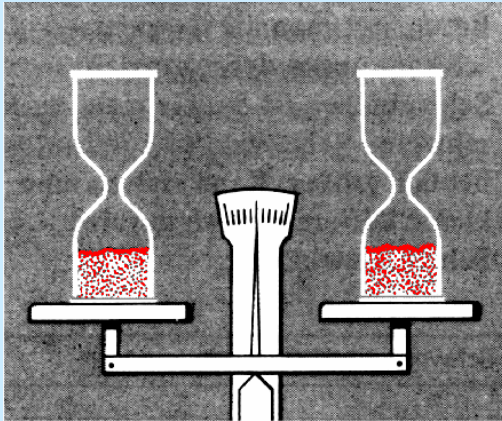
Eine weiß-blaue, bayerische Sanduhr. Natürlich läuft sie anders herum als normal. Wie kann das sein?

Die Sanduhr gibt es auch in rot und weiteren Farben – sie ist eine deutsche Erfindung.

Im Inneren befinden sich kleine Kügelchen aus Polyethylen in einer gesättigten Lösung von Kalziumchlorid in Wasser. Die Dichte der Kügelchen ist kleiner als die der Flüssigkeit.

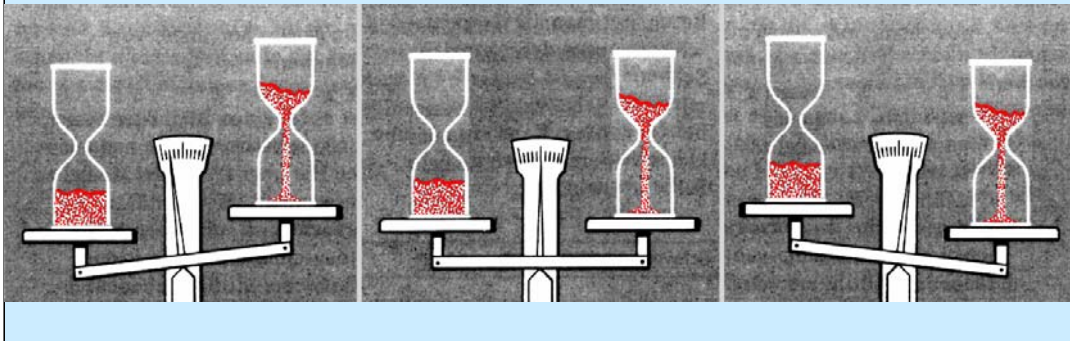
Als Uhr nicht besonders gut geeignet. Wegen der starken Abhängigkeit der Viskosität von der Temperatur keine konstanten Durchlaufzeiten.

Rechts ist ein – sogar ziemlich guter – Nachbau aus Taiwan zu sehen. Der hat 1997 einen Preis bekommen, und zwar den sogenannten Plagiarius. Der wird jedes Jahr auf der Frankfurter Messe Ambiente für das beste Plagiat verliehen. Auf diesen Preis ist naturgemäß keiner besonders stolz. In diesem Fall hat der Preis, der ausführlich in den Medien erwähnt wurde, den Umsatz des deutschen Erfinders vervielfacht!



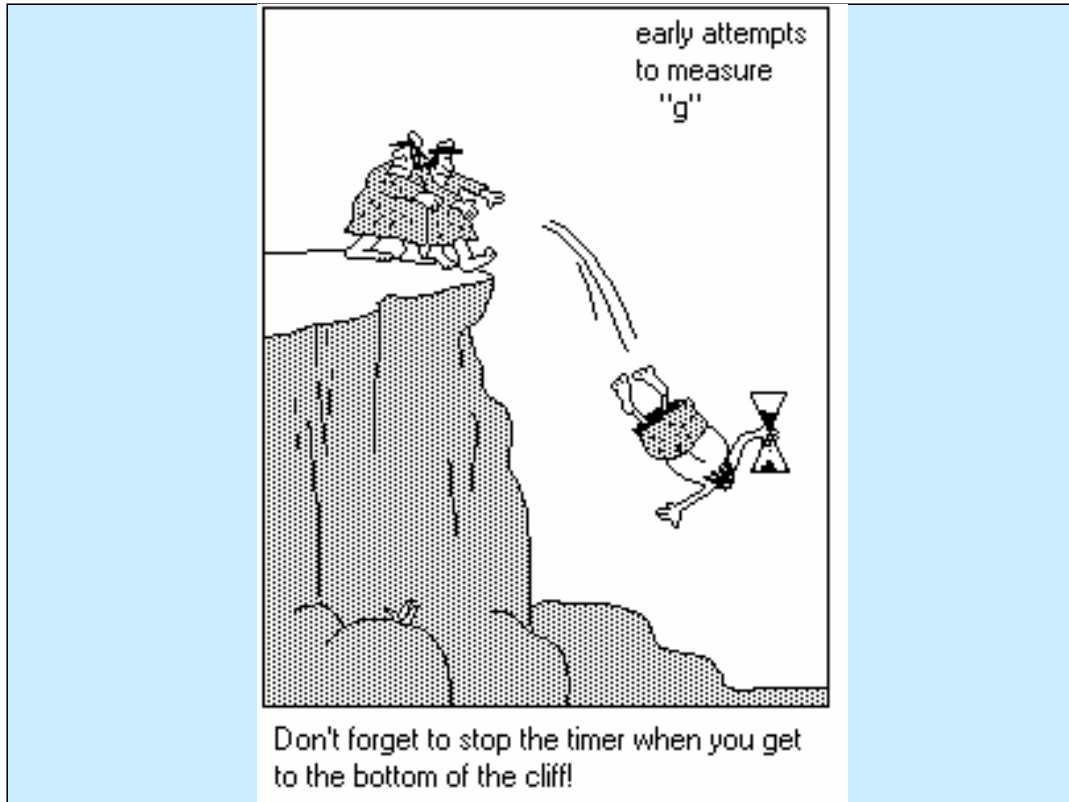
Wird sich die Waage neigen,
wenn eine Sanduhr
umgedreht wird?

Wenn ja, wohin?




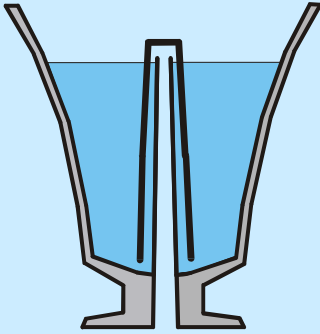
Zu dieser Frage gibt es eine Reihe von Publikationen mit unterschiedlichem Ergebnis (siehe meine Datenbank).

Die neueste Arbeit ist: **Readmount, Ian H., Price, Richard H.:** The Weight of time, *Physics Teacher* 36 (1998), 432-434

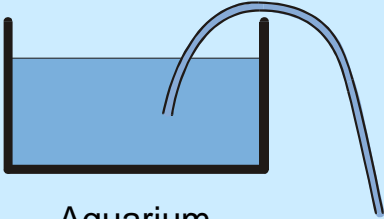


Obwohl zunächst ein erheiternd grausamer Cartoon, kann man dazu fragen:
Ist das Experiment überhaupt geeignet, um g zu messen?
Was passiert in der Sanduhr während des Falls?

Interessanterweise wurde die Sanduhr erst im Mittelalter entdeckt!
Im Altertum gab es Wasseruhren!

Prinzip des Siphons



Aquarium

**KERAMIK TRINKBECHER VON
PYTHAGORAS (530 v.ch.)**

Die Tradition besagt, dass der Pythagoras um 530 v.ch. als er bei der Wasserbautenkonstruktion der Stadt von Samos Teilnahm, die erforderliche Massnahme bei dem Weintrinken der Arbeiter aufdrang, indem er den "don goroohnton Trinkbecher" anfertigte.

Wenn der Wein die Becher - Linie überholte, dann wurde der Becher vollkommen geleert und der Habgierige dadurch bestraft !

KOUMARADEI, SAMOS - GREECE KLIRONOMOS
☎ (0273) 41284

Auf den ersten Blick ist dies kein Spielzeug. Aber es ist ebenfalls ein Beispiel, welches zu Diskussionen führt. Wie funktioniert es? Wie ist die Konstruktion im Inneren?

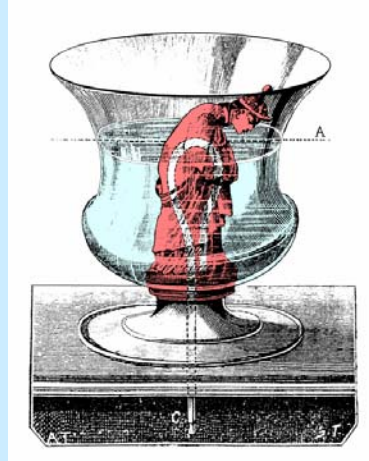
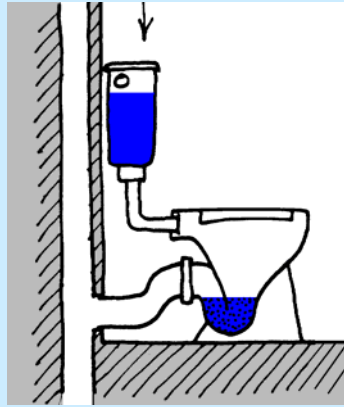
Der Text stammt von dem Originalbeilagezettel von der griechischen Insel Samos. Es enthält keine physikalischen Erklärungen. Man sollte sich nicht über die Rechtschreibung lustig machen: mit "don goroohnton Trinkbecher" ist der "gerechte Trinkbecher" gemeint.

Heron von Alexandrien hat dieses Prinzip schon vor 2000 Jahren sehr genau beschrieben.

Zugrunde liegt hier das Prinzip des Siphons, wie es in vielen Konstruktionen des täglichen Lebens realisiert ist. Wenn die Flüssigkeit über den Rand der inneren Röhre steigt, wird die gesamte Flüssigkeit durch die innere Röhre herausgezogen.

Pythagorasbecher/Tantalusbecher

Prinzip des Siphons



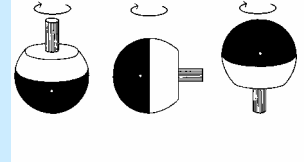
Die Toilette mit Wasserspülung nach dem Siphonprinzip wurde erst 1885 von dem Engländer Thomas Twyford erfunden! Sie stellt eine enorm wichtige Grundlage für unsere Hygiene dar.

Das Weinglas ist eine kunstvolle Ausführung. Sobald der Flüssigkeitsspiegel den Mund der gebeugten Figur erreicht, läuft die Flüssigkeit in den darunter liegenden Behälter. Somit läuft wenigstens nichts auf die Unterlage.



W. Pauli und N. Bohr
betrachten einen
Stehaufkreisel
(Engl. tippe-top)

Universität Lund
31.05.1951



Es ist immer gut, zur einführenden Unterstützung berühmte Physiker zur Hand zu haben. Hier schauen Bohr und Pauli anlässlich der Eröffnung des Instituts für theoretische Physik an der Universität Lund auf einen Stehaufkreisel (Englisch tippe-top). Den Kreisel als Stehaufkreisel zu identifizieren, ist aus diesem Bild heraus kaum möglich.

Tatsächlich sind aber Bohr und Pauli in diesem Fall höchstens eine visuelle Unterstützung. Es ist nicht überliefert, ob sie zu diesem Spielzeug in diesem Moment etwas bemerkt haben. Noch haben sie dazu etwas veröffentlicht.

Die Konstruktion eines Stehaufkreisels ist von bestechender Einfachheit. Die Physik dazu ist sehr kompliziert. Es gibt viele Publikationen über diesen Kreisel. Und noch immer werden neue Überlegungen veröffentlicht.

Es gibt meines Wissens aber keine einfache, plausible Erklärung für das Stehaufverhalten dieses Kreisels. Und das ist natürlich nicht befriedigend, insbesondere nicht für Lehrer.

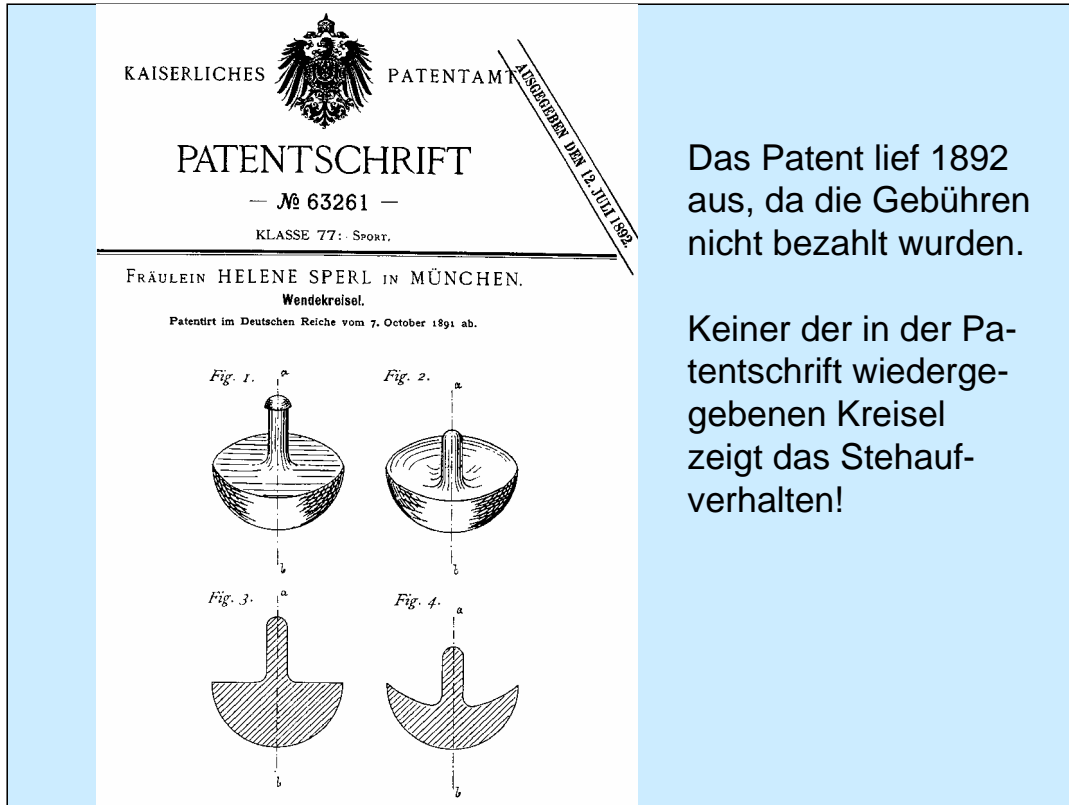
Für Physik-Studenten ist der Stehaufkreisel als Übungsaufgabe in dem Lehrbuch von F. Kuypers: Mechanik enthalten.

Mein Interesse gilt besonders solchen Spielzeugen, die einerseits von der Physik her einfach genug sind, um sie auch in der Schule behandeln zu können, die aber – falls möglich – auch Erweiterungen auf höherer Ebene zulassen.

Eine verblüffende und nicht immer bekannte Beobachtung ist, dass sich die Drehrichtung des Kreisels in Bezug auf den Kreisel selbst ändert. Anders formuliert bleibt die Drehrichtung bezüglich eines raumfesten Koordinatensystems erhalten. Gleiches gilt für den Drehimpuls.

Bei der Aufrichtung muss die kinetische Energie abnehmen, da die potentielle Energie zunimmt. Folglich muss die Drehzahl (Winkelgeschwindigkeit) abnehmen, also auch der Drehimpuls ($L = I \cdot \omega$). Daher ist ein vertikales Drehmoment erforderlich, welches nur durch eine horizontale Kraft aufgebracht werden kann. Und das kann nur durch eine Reibungskraft passieren.

Der Drehimpulssatz ($dL/dt = M$) wird zwar für die Aufstellung der Bewegungsgleichung benötigt, ist aber für eine anschauliche Erklärung unbrauchbar, da die Richtung des Drehimpulses sich nicht ändert!



Der Stehaufkreisel wurde 1891 von Fräulein Helene Sperl aus München patentiert. Das Patent lief 1892 wieder aus, da die Gebühren nicht bezahlt wurden. Im Patent sind fünf Zeichnungen von Stehaufkreiseltypen vorhanden. Ich habe die in unserer Institutswerkstatt nachbauen lassen. Keiner von denen zeigt das Stehaufverhalten. Dies hat mich zur Nachfrage beim Deutschen Patentamt veranlasst, ob sein könne, was nicht sein dürfe. Ich bekam allerdings nur eine etwas vage Antwort, dass die Prüferkollegen damals vielleicht doch nicht so sorgfältig waren, wie sie es hätten sein sollen. Ich glaube eigentlich gerade das Gegenteil. Früher wurde sorgfältiger geprüft. Was aber der Grund für die Erteilung dieses Patents trotz Nichtfunktionierens war, bleibt unklar.

Grundsätzlich muss ein Patent nicht funktionieren!!

Berechnetes Verhalten eines Stehaufkreisels
Zulassungsarbeit zum Staatsexamen von C. Friedl/Univ. Augsburg 1997



Der Kreisel dreht sich links herum (entgegen dem Uhrzeigersinn)

Es ist mit heutigen Rechnern gut möglich, das Verhalten eines Stehaufkreisels zu berechnen und in einer Simulation zu veranschaulichen. Hier ist so ein Multi-Media-Beispiel erstellt im Rahmen einer Zulassungsarbeit zum Staatsexamen an der Universität Augsburg.

Dieses Beispiel lässt sich aus dem Internet herunterladen unter der URL:
<http://www.physik.uni-augsburg.de/~wobsta/tippetop/movie.shtml.de>

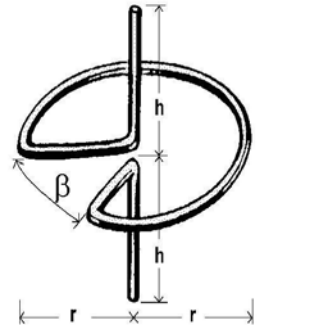
Es gibt weitere Beispiele für Animationen:
<http://www-hotz.cs.uni-sb.de/silvia/kreisel.html>

Der Büroklammerkreisel (Sakai-Kreisel)

T. Sakai: Topics on tops which enable anyone to enjoy himself,
Mathematical Sciences (Surikagaki = 数理科学) **271**, 18-26 (1986)



1st solution
1. Lösung



$$\beta = 53.13^\circ$$

Wie lässt sich aus einer Büroklammer ein Kreisel machen. Die Büroklammer ist nur als Beispiel für einen leicht erhältlichen Draht definierter Länge gemeint. Prof. Sakai aus Japan hat dazu eine Idee entwickelt, die er als Übungsaufgabe für seine Studenten gedacht hat. Ob die Studenten sehr erfreut waren, ist zweifelhaft.

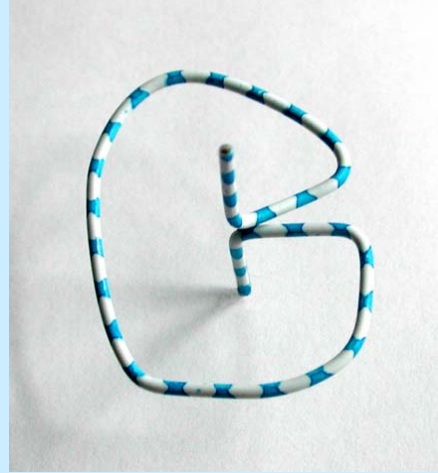
Seine Lösung sieht sehr einfach aus. Man erkennt die Achse des Kreisels. Um ein möglichst großes Trägheitsmoment zu erhalten, sollte der Draht einen möglichst großen Abstand von der Drehachse haben. Die Speichen sind notwendig, um den Ring zu halten. Wie groß muss der Winkel β sein, damit der Schwerpunkt von Speichen und Ring in der Achse liegt?

Der Büroklammerkreisel (Sakai-Kreisel)

unvollkommene Version

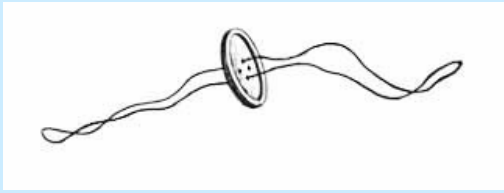
Auch dieser Kreisel funktioniert sehr gut, obwohl der Bogen nicht besonders gut rund ist und der Winkel auch nicht stimmt.

Wichtig ist nur, dass die beiden Teile der Achse in einer geraden Linie liegen und senkrecht zur Ebene des Kreisbogens durch den Schwerpunkt des Gebildes gehen.



Auch dieser Kreisel dreht sich sehr gut, obwohl die Rundung keineswegs kreisförmig ist und auch der Winkel zwischen den Speichen nicht dem korrekten Wert entspricht. Bei der tatsächlichen Realisierung des Kreisels ist es wichtig, dass durch adäquates Biegen des Drahtes der Schwerpunkt in der Achse liegt und dass die beiden Achsteile eine möglichst gerade Linie bilden, die senkrecht zur Ebene mit dem Kreisbogen/Speichen verläuft.

Knopfkreisel, Scheibenkreisel



bei 10000 U/min
etwa 4000Hz

In vielen Ländern der Welt ist dieses Spielzeug bekannt. Durch eine mit zwei Löchern durchbohrte Scheibe (im einfachsten Fall ein Knopf) werden Fäden gesteckt und dann aufgedrillt. Zieht und entspannt man rhythmisch an den Fäden, rotiert die Scheibe hin und her.

Mit einem Hohlkörper, der als Resonanzkörper dient, lassen sich auch Töne damit erzeugen.



Zauberrad, Magisches Rad

IYNX

Wie da wirbelt mit Kypris' Hilfe die eherne Spule,
Werde auch jener daher nach unserer Pforte gewirbelt.
Kreisel, ziehe du mir zu meinem Hause den Jüngling.
(Theokrit, Die Zauberinnen)

*Darstellung aus dem
antiken Griechenland*

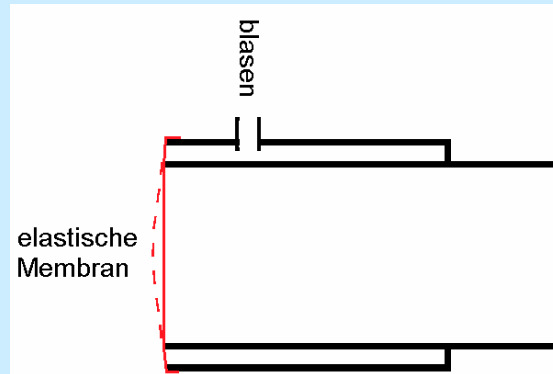
Das sogenannte Zauberrad wurde im antiken Griechenland von Frauen benutzt, um ihren treulosen Geliebten zurückzuerlangen. Dieses Spielzeug ist weltweit bekannt, wenn auch nicht mit dem in Griechenland unterlegten Sinn.

Iynx

In der griech. Sage Tochter des Pan und der Echo. Dienerin der Io. Wurde von Hera in einen Wendehals verwandelt, da sie Zeus zu dem Liebeshandel mit Io verführt hatte.

Kypris was a Greek Goddess and an epithet (Beiname) of [Aphrodite](#), who was said to have risen from the sea from the island of Cyprus. Aphrodite's cult came to Greece from Cyprus, where she was known as Kypris (Lady of Cyprus.)

Funfare (Fanfare)



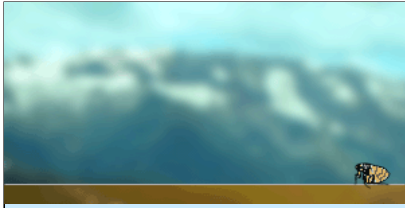
Die meisten Spielzeuge stammen aus der Mechanik. Aber hier ist eins aus der Akustik. Bitte nicht erschrecken. Es ist ziemlich laut. Die Frequenz lässt sich ändern durch Variation der Länge der Röhre.

Die Konstruktion ist sehr einfach: eine elastische Membran schwingt beim Hineinblasen.

Man kann mittels Rechner und Soundkarte schnell eine Fourieranalyse machen und die gemessenen mit den berechneten Resonanzfrequenzen vergleichen. Die ermittelte Grundfrequenz stimmt überhaupt nicht überein mit der Grundfrequenz einer an einem Ende offenen Röhre.

Warum nicht?

Man kann das Spielzeug in Fußballstadien verwenden (Tröte), aber auch ernsthaft als Nebelhorn.



Springtiere

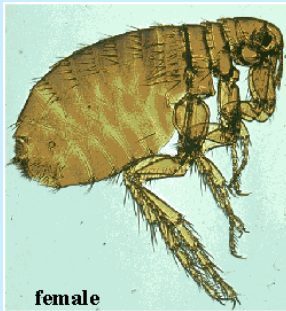
Sprunghöhe $h \approx 0,5\text{m}$

Beschleunigungstrecke $d \approx 2\text{mm}$

Beschleunigung $a = h \cdot g / d = 2500\text{ms}^{-2}$
 $\approx 250g$

(gleichförmige Beschleunigung vorausgesetzt;
 $g \approx 10\text{ms}^{-2}$)

Mensch $\approx 3g$



↑
 $\approx 2\text{mm}$
 ↓

Pulex irritans
 (= Menschenfloh)

Aus $v = \sqrt{2gh}$ und $v = \sqrt{2ad}$

ergibt sich $a = \frac{h}{d} g$

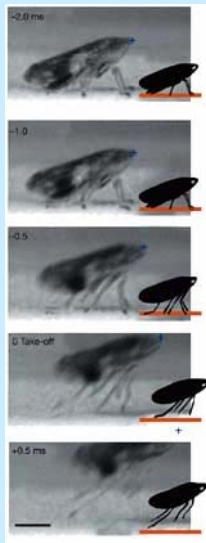
Ein Floh springt bis zu einer Höhe von maximal 50cm. Da er sehr klein ist, muss er auf einer sehr kurzen Distanz sehr stark beschleunigen

Wie macht der Floh das?

Since the jumping height of a flea is strongly influenced by air resistance, it has, in reality, a greater initial acceleration. There are other animals with an even higher acceleration. The jumps of fleas and other animals are difficult to measure and not very reproducible.

Springtiere

Beschleunigung $\approx 400g$ (!!)



Philaenus spumarius
(= Wiesen-Schaumzikade)

Eine abspringende Wiesen-Schaumzikade, *Philaenus spumarius*, neuer Weltrekordhalter im tierischen Hochsprung, beschleunigt sich mit 400facher Erdbeschleunigung auf bis zu 70 Zentimeter Sprunghöhe. Auf Hochgeschwindigkeitsfilmen mit 2000 Bildern pro Sekunde zeigen nur zwei den blitzartigen, millisekundenlangen Absprungvorgang. Ihren Name verdankt die Wiesen-Schaumzikade übrigens ihren Jugendstadien: Die Larven verstecken sich vor Fressfeinden in einem selbst produzierten, volkstümlich als "Kuckucksspeichel" oder "Hexenspucke" bezeichneten Schaum.

© Malcolm Burrows, University of Cambridge, Nature 2003

Es gibt auch Pflanzen, die ihre Samen mit erheblicher Beschleunigung wegschießen.

Springspielzeug



← käufliche Exemplare

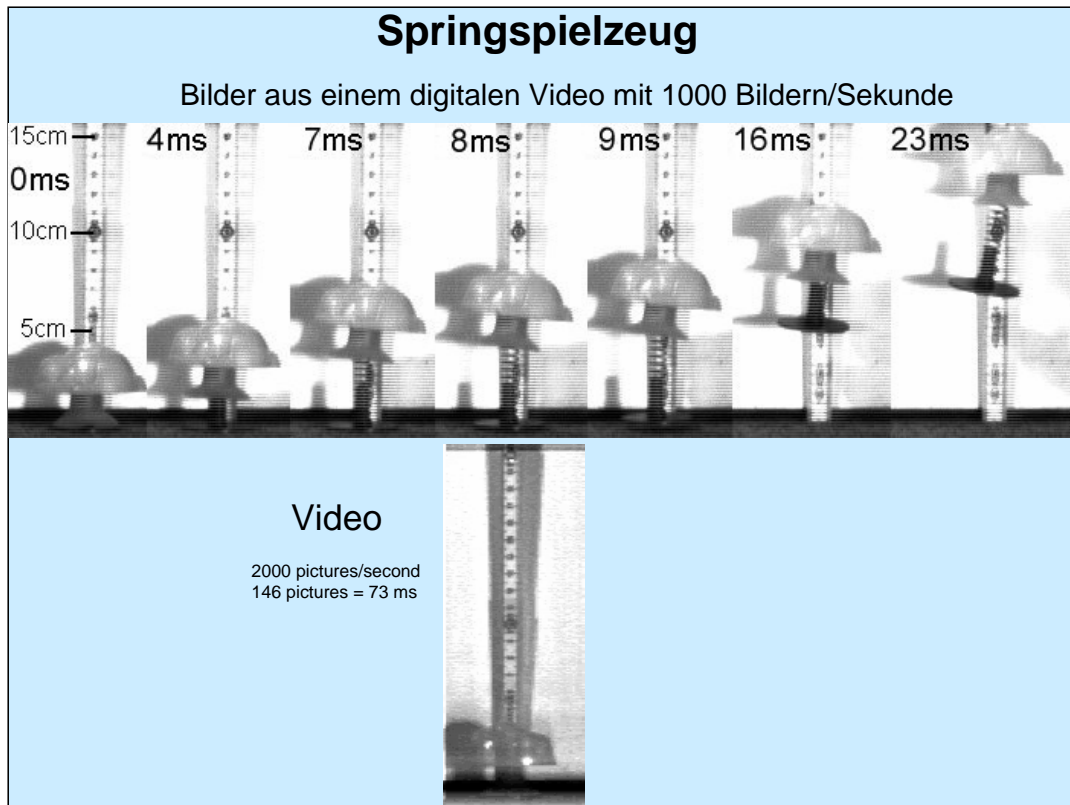
Kugelschreiber



Ein kleines, vermutlich 1970 in Deutschland erstmals entwickeltes Spielzeug besteht aus einer Feder mit einem Gummisauger. Drückt man die Feder mit dem Gummisauger auf die Basis, löst sich nach einer kaum vorhersagbaren Zeit der Sauger und das Spielzeug springt hoch.

Verschiedene käufliche Versionen sind gezeigt.

Noch einfacher ist die Verwendung von Kugelschreibern, bei denen sich der Vorderteil abschrauben lässt.



Mit einer digitalen High-Speed-Kamera wurde der Startvorgang aufgenommen (1000 bzw. 2000 Bilder/s). Daraus lassen sich quantitativ Daten extrahieren. Hier sind nur einige Bilder aus dem Video zusammengestellt. Die Bilder sind nicht scharf, da die Auflösung der Kamera mit zunehmender Frequenz sinkt. Das Video ist von meiner homepage herunterladbar.

Bei 0ms startet der Kopf (löst sich der Gummisauger); nach 7ms erreicht der Kopf seine Maximalgeschwindigkeit; nach 8ms hebt die Basis vom Boden ab; nach 9ms ist die Feder maximal gedehnt; nach 16ms ist die Feder maximal komprimiert; nach 23ms ist die Feder wieder maximal gedehnt.

Die Feder schwingt mit einer Frequenz von etwa 70Hz. Das kann mit dem bloßem Auge nicht wahrgenommen werden.

Es gibt gar nicht so viele Spielzeuge mit so vielen Vorteilen

- 1) **billig**
- 2) **Interessant und motivierend für Kinder/Schüler**
- 3) **Einfache, klare Konstruktion**
- 4) **Relativ leichter Selbstbau**
- 5) **Interdisziplinäre Bezüge**
- 6) **Vergleich Experiment – Theorie**
- 7) **Modellierung und Simulation**
- 8) **Unterschiedliche Schwierigkeitsstufen**

Jedoch nichts ohne Nachteil:

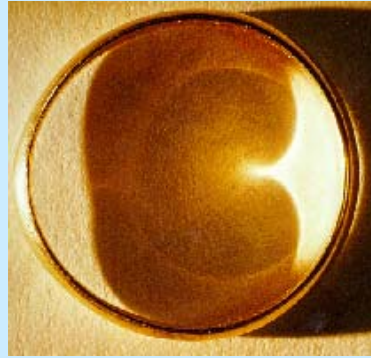
- 1) **Gewisses Gefahrenpotential**
- 2) **Nicht immer direkt käuflich**

Katakaustiken

Kaffeetassenkaustik

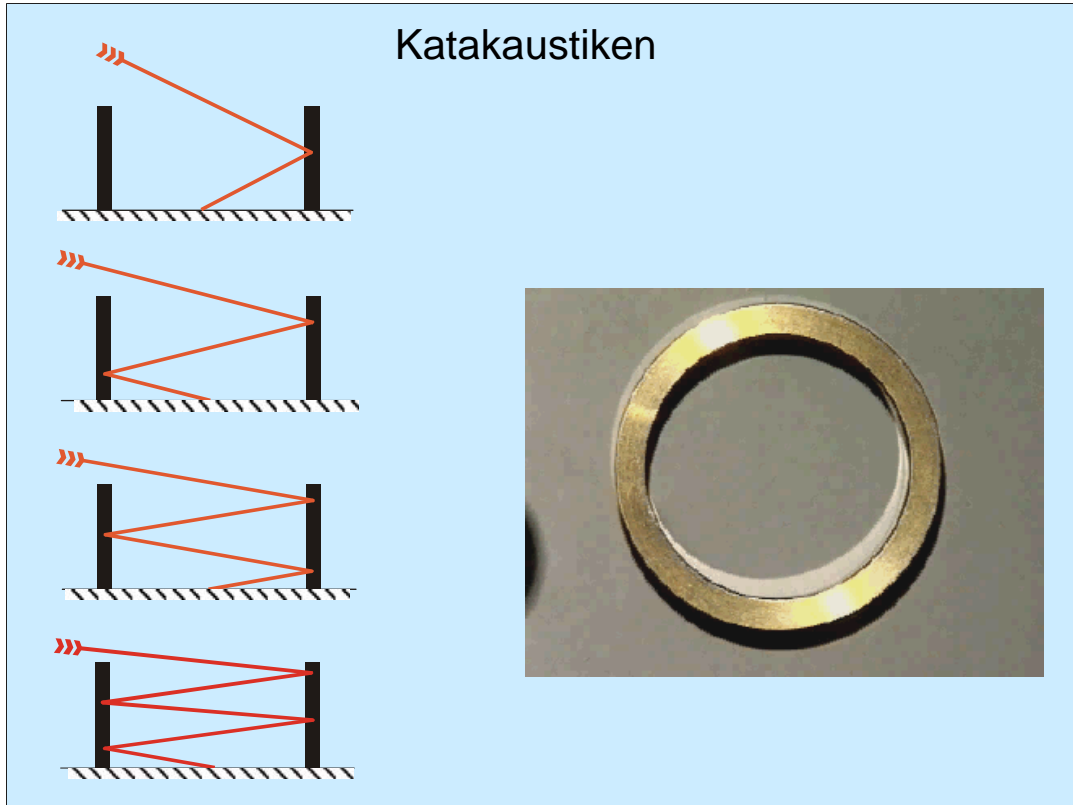


Eheringkaustik



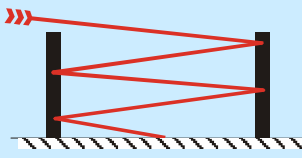
Fällt Sonnenlicht schräg in eine gut gefüllte und innen gut reflektierende Kaffeetasse ein, sieht man eine sogenannte Kaustik. Das Gleiche passiert bei einem innen zylindrischen und gut polierten Ehering.

Die dabei zugrunde liegende mathematische Kurve ist eine sogenannte Epizykloide



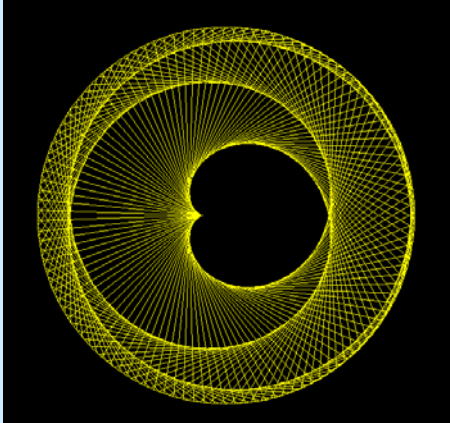
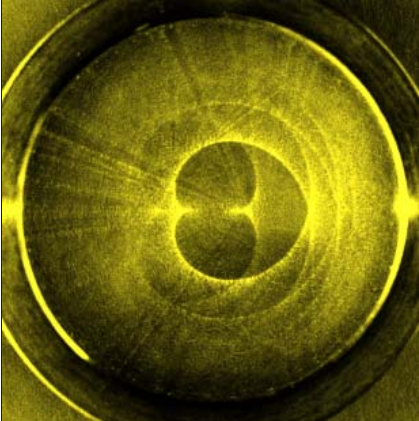
Ein sehr guter Ehering zeigt bis zu 5 Herzchen; ein schlechter überhaupt keins.

Katakaustiken



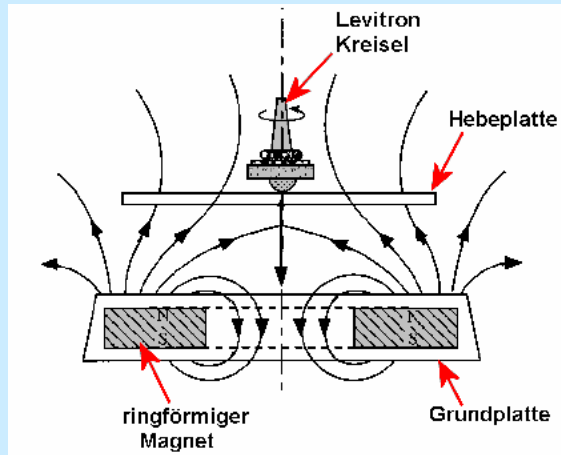
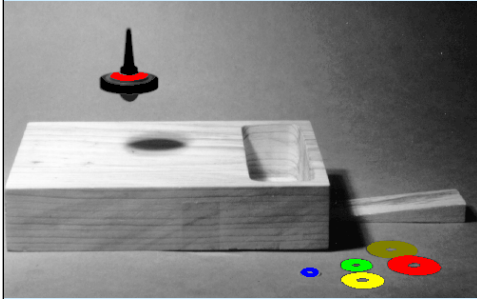
vierfache
Reflektion
im Ehering;
Realität

vierfache
Reflektion
im Ehering;
Berechnung



Die Mehrfachreflektion in einem spiegelnden Zylinder lässt sich mit dem Programm Mathematica hervorragend berechnen.

Levitron – the amazing anti-gravity top



Das Wort Levitation ist im allgemeinen Sprachgebrauch häufig mit spiritistischen Erscheinungen besetzt. Auch in Heiligenlegenden spielt es eine Rolle. Vermeintlich wird dabei die Schwerkraft aufgehoben. Gemäß einer christlichen (!) Überlieferung soll sogar der eiserne Sarg des Propheten Mohammed zwischen zwei riesigen Magneten frei schwebend aufgehängt worden sein [1].

[1] Encyclopaedia of Islam, Bd. V, Leiden 1986, Stichwort Maghnatis, S. 1166

Der amerikanische Erfinder Roy Harrigan patentierte dieses Spielzeug

Levitron – the amazing anti-gravity top

Roy Harrigan erfand 1983 den
Schwebenden Magnetkreisel
U.S. patent No. 4,382,245

Bill Hones brachte Levitron
1994 auf den Markt

Das Wort Levitation ist im allgemeinen Sprachgebrauch häufig mit spiritistischen Erscheinungen besetzt. Auch in Heiligenlegenden spielt es eine Rolle. Vermeintlich wird dabei die Schwerkraft aufgehoben. Gemäß einer christlichen (!) Überlieferung soll sogar der eiserne Sarg des Propheten Mohammed zwischen zwei riesigen Magneten frei schwebend aufgehängt worden sein [1].

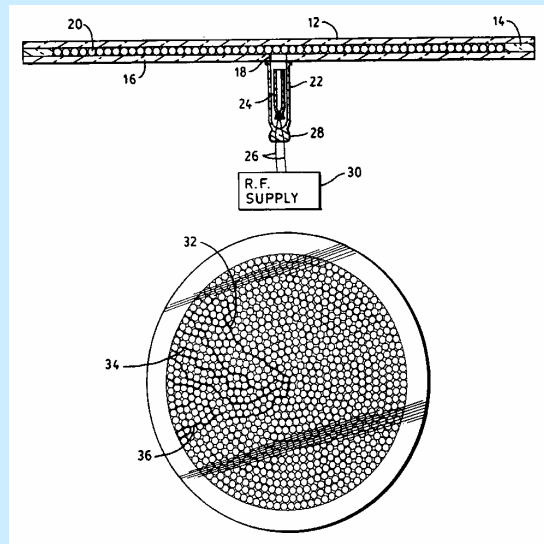
[1] Encyclopaedia of Islam, Bd. V, Leiden 1986, Stichwort Maghnatis, S. 1166

Der amerikanische Erfinder Roy Harrigan patentierte dieses Spielzeug

Plasmascheibe/Plasmakugel



United States Patent 5,383,295 Jan 24 1995

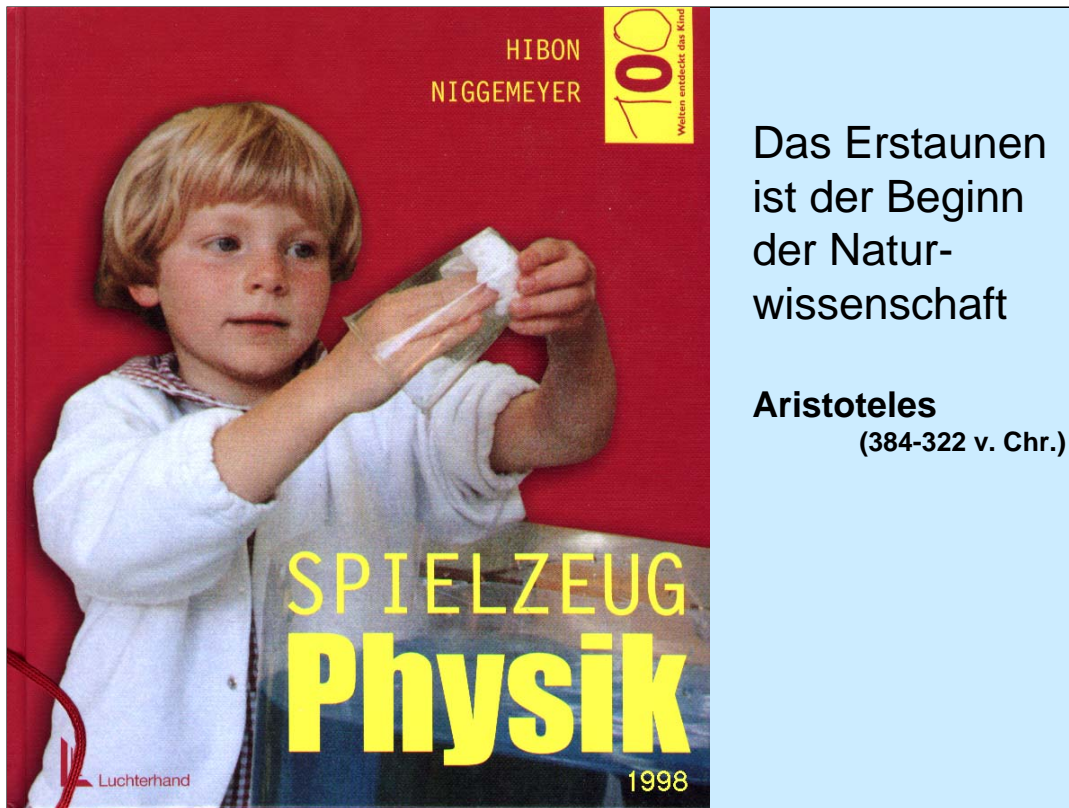


Spannungen von einigen Kilovolt (35000V) führen bei einer Frequenz von etwa 40kHz zu Plasmaentladungen. Edelgase wie Xenon und Neon werden bei einem Druck von etwa 1 bis 100hPa zum Leuchten angeregt. Glaskügelchen zwischen den Glasscheiben sind mit einem fluoreszierendem Belag versehen, der ein Kontinuumsspektrum abstrahlt.

Warum verändert sich die Erscheinung, wenn man mit dem Finger antippt?

Warum wird die Fingerspitze warm, wenn man die Mitte der Scheibe berührt?

Eine Publikation dazu ist im Internet (<http://www.physik.uni-augsburg.de/epp/>) zugänglich und ist in der Zeitschrift 'Physik in unserer Zeit' **33** (2002), Seite 16-19



Ganz wichtig ist es, schon im Kindergarten mit physikalischem Spielzeug anzufangen.



Deutschland war und ist sehr stark bei Publikationen zur Spielzeugphysik. Schon in den dreißiger Jahren des vorigen Jahrhunderts erschien das linke Buch. Es ist die Doktorarbeit des Verfassers an der Universität Würzburg.

Das rechte Buch ist ein Beispiel für eine neuere Veröffentlichung.

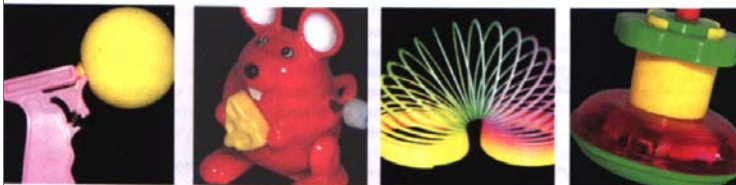
How do you get students
interested in physics?

Let them play!

The Role of Toys in Teaching Physics

An AAPT/PTRA Workshop Manual

By Jodi and Roy McCullough



www.aapt.org/catalog

American Association of Physics Teachers • One Physics Ellipse • College Park, MD 20740-3845
Phone: 301-209-3300 • Fax: 301-209-0845

published by:
American Association
of Physics Teachers

June 2000

~\$35

Auch in den USA erscheint eine Menge zur Spielzeugphysik. Spielzeugphysik wird auch dort als eine Möglichkeit angesehen, mehr Schüler für Physik zu interessieren. Die National Science Foundation hat viele Projekte dazu unterstützt.

mail: ucke@mytum.de

www.ucke.de



Vorstellung

Name: Christian Ucke

Technische Universität München

Fakultät für Physik

Tätig in der Lehre (Physikalisches Praktikum für Physiker)

Forschung + Hobby: Physik von Spielzeugen

Springenspielzeug

Sprunghöhe $h = 1.2\text{m}$ ($\pm 10\%$)

Zusammendrücken auf einer Waage

$F \approx 19\text{N}$ (= 1.9kg; $\pm 10\%$)

Startbeschleunigung des Kopfes

$a = F/m_1 - g \approx 190g$

($m_1 = \text{Kopf} + \text{Gummisauger} + 1/3\text{Feder} = 0.00984\text{kg}$)



Das erste und für Kinder/Schüler motivierendste Experiment ist, das Spielzeug hochspringen zu lassen und die Sprunghöhe zu messen.

Auf einer Waage lassen sich die Massen der Einzelteile bestimmen und auch die Kraft, die zum Zusammendrücken erforderlich ist.

Sehr einfach kann man auch die Startbeschleunigung des Kopfes berechnen, wobei sich sehr große Werte ergeben.

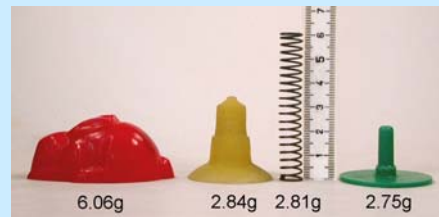
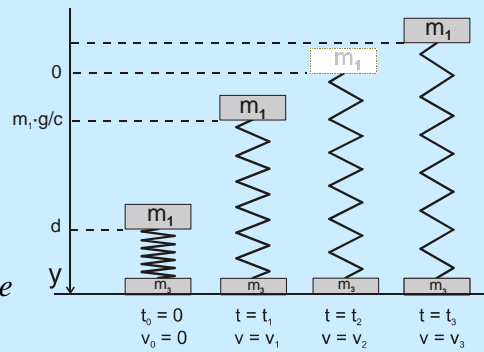
Springenspielzeug

Maximalgeschwindigkeit des Kopfes

$$\frac{c}{2}d^2 - \frac{c}{2}\left(\frac{m_1g}{c}\right)^2 = m_1g\left(d - \frac{m_1g}{c}\right) + \frac{m_1}{2}v_1^2$$

Feder –
energie potentielle
Energie kinetische
Energie

$$v_1 = -\sqrt{\frac{c}{m_1}\left(d - \frac{m_1g}{c}\right)} \approx 8\text{ms}^{-1} \approx 30\text{kmh}^{-1}$$



Um die Maximalgeschwindigkeit des Kopfes zu berechnen, kann man die Energien betrachten.

The spring is compressed, and at the time $t_0 = 0$ the head starts with maximum acceleration. The time t_1 is when the mass m_1 (head + rubber cup) achieves the position where the head is in the equilibrium situation. Equilibrium means the situation, when the spring is not compressed and the head is in equilibrium with the spring. The time t_2 characterizes the position of the end of the spring without m_1 ; it is the equilibrium position of the spring without m_1 . t_3 should be when the bottom mass m_3 leaves the floor.

The head will achieve its maximum velocity v_1 at the time t_1 . Conservation of energy leads to the following equation.

If you calculate the velocity results $v_1 = 8\text{ms}^{-1}$.

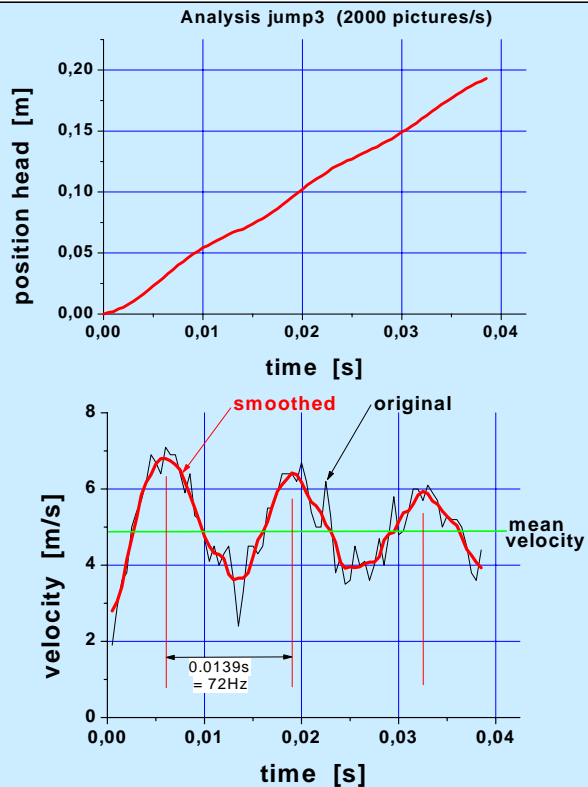
How can you measure that?

Springspielzeug

experimentelle Ergebnisse
mit Hilfe einer Analyse des
Videos
Auswertung mit Origin

Geschwindigkeit

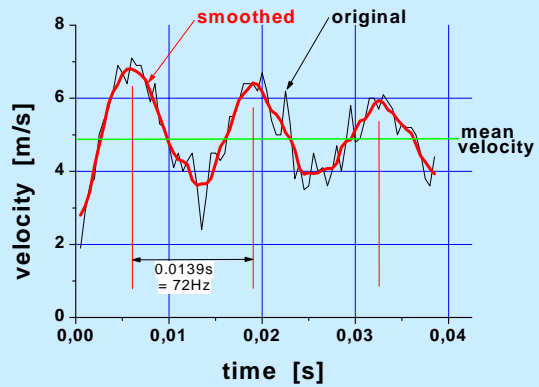
als Ableitung aus dem Diagramm
für die Position



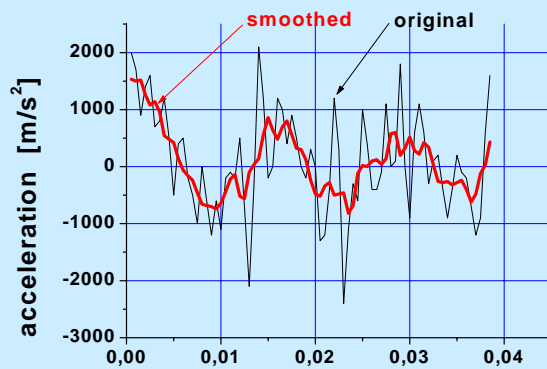
Mit Videoauswerteprogrammen (DIVA, COACH5 usw.) können die Bilder quantitativ ausgewertet werden. Im oberen Bild ist die Position des Kopfes als Funktion der Zeit aufgetragen.

Daraus wurde mit Hilfe des Auswerteprogrammes Origin die Geschwindigkeit ermittelt. Die Maximalgeschwindigkeit von etwa 7m/s stimmt näherungsweise mit der berechneten Maximalgeschwindigkeit von 8m/s überein.

Springenspielzeug



Beschleunigung
als Ableitung aus dem Diagramm
für die Geschwindigkeit



Aus der Geschwindigkeit lässt sich die Beschleunigung ermitteln. Wegen der relativ starken Datenunsicherheiten ergibt sich keine glatte Kurve. Mit Glättung sieht die Kurve etwas ansprechender aus.

Es ergibt sich eine Startbeschleunigung von etwa 2000m/s². Das entspricht wiederum hinreichend dem berechneten Wert.



Griechischer Junge spielt Yo-Yo

Vasendekoration 450 B.C.
Antikemuseum Berlin



Physiker spielt Yo-Yo

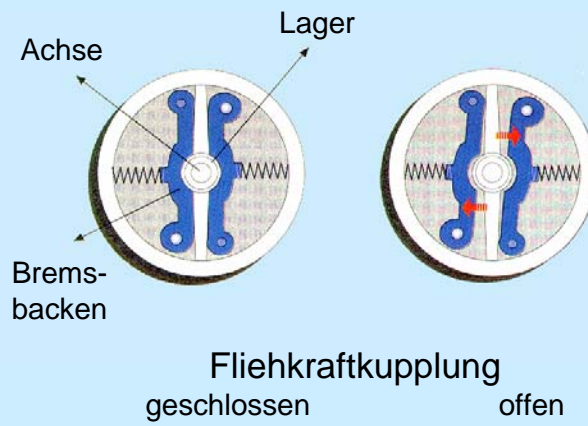
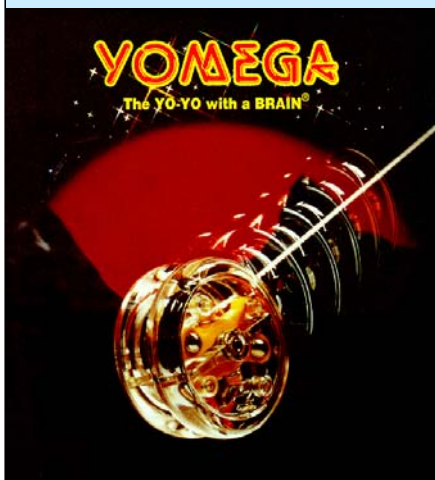
W. Bürger: Das Jojo,
ein physikalisches Spielzeug
Phys. Blätt. **39** (1993), 401-404

Paralyse
durch
Analyse?

Ein sehr populäres Spielzeug ist das Jo-jo. Links sieht man einen griechischen Jungen damit spielen. Vermutlich konnte er gut damit umgehen, wusste aber nichts über die Physik. Der Mann auf der rechten Seite kennt hingegen offenbar die Physik perfekt – die Formel in der Sprechblase beschreibt jedenfalls die Bewegung eines Jo-jos. Ob er das Spielzeug beherrscht sei dahingestellt. Die Wortschöpfung 'Paralyse durch Analyse' stammt aus einem Aufsatz über die Physik des Golfs aus den Physikalischen Blättern und soll verdeutlichen, dass zuviel Physik vermutlich hinderlich für das Spielen ist. Die meisten Menschen werden vermutlich in der Mitte zwischen diesen beiden Extremen stehen: Weder können sie gut mit dem Jo-jo umgehen, noch denken sie intensiv an Physik.

Die Physik des Jo-jos ist vielfach beschrieben und nicht sehr kompliziert. Es gibt eine Menge Publikationen darüber, wie man das dem Jo-jo äquivalente Maxwell'sche Rad im Schulunterricht einsetzen kann. Zum Yo-yo kann man auch diverse historische Bezüge herstellen.

Yo-Yo



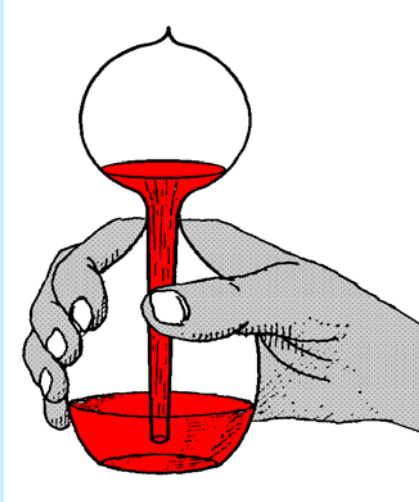
Dieses Jo-jo hat eine Fliehkraftkupplung. Dreht sich das Jo-jo schnell genug, geben die Kupplungsbacken die Achse frei die dann frei rotieren kann.

Bei Profis ist dieses Jo-jo aber nicht besonders beliebt, da sich die typischen Jo-jo-tricks nicht gut damit vorführen lassen.

Wie gut muss man Lehrer das vorgeführte Spielzeug selbst beherrschen?

Häufig sind Schüler viel besser!

**Liebesthermometer
Temperamentsmesser
Baromètre d'amour**



trinkende Ente



Im Inneren des Liebesthermometers befindet sich eine Flüssigkeit, die ihren Siedepunkt ein wenig oberhalb der üblichen Zimmertemperatur hat, z.B. Methanol. Die Flüssigkeit im Inneren befindet sich mit ihrem eigenem Dampfdruck im Gleichgewicht. Es ist keine Luft im System vorhanden. Umfasst man den unteren Teil mit der warmen Hand, verdunstet Flüssigkeit und erhöht den Dampfdruck im Inneren. Dadurch wird die Flüssigkeit im Röhrchen hochgedrückt.

Im Inneren der Ente befindet sich eine Flüssigkeit, die ihren Siedepunkt ein wenig oberhalb der üblichen Zimmertemperatur hat, z.B. Methanol. Noch besser geeignet sind Diethylether oder Methylenchlorid, die jedoch heute aus Gesundheits- oder Umweltgründen nicht mehr verwendet werden. Die Flüssigkeit im Inneren befindet sich mit ihrem eigenem Dampfdruck im Gleichgewicht. Es ist keine Luft im System vorhanden. Taucht der filzummantelte Kopf der Ente ins Wasser, nimmt er etwas Flüssigkeit auf. Diese verdunstet und der Kopf kühlt sich dabei ab, was wiederum dazu führt, dass sich der Dampfdruck der Flüssigkeit vermindert. In dem Röhrchen wird daraufhin die Flüssigkeit hochgesaugt, wodurch sich wiederum der Schwerpunkt der Ente so verändert, dass sie sich nach vorne neigt und wieder mit dem Kopf ins Wasser taucht. Dabei läuft die Flüssigkeit aber durch das Röhrchen zurück ins Hinterteil und die Ente richtet sich auf. Und so wiederholt sich der Vorgang immer, bis kein Wasser mehr den Kopf der Ente benetzt.