

Physikalisches Spielzeug



Christian Ucke

Vortrag am 25.6.2001 im Kolloquium der Münchener Physiker

Inhalt

- 20' 1) Präsentation einiger physikalischer Spielzeuge zur Einführung (ohne lange Erklärung)
 - 40' 2) Zwei Spielzeuge mit genauerer Erklärung
 - a) Springtiere
 - b) 3D-Brille (Chromadepth)
 - 10' 3) Literatur und links für physikalische Spielzeuge
- S 60'**

Im vorab zu diesem Vortrag wurde ich schon gefragt, was ich unter physikalischem Spielzeug verstehe. Zunächst ein Spielzeug, dass erkennbar einen physikalischen Hintergrund hat, bei dem 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.

Zunächst möchte ich einige Spielzeuge ohne lange Erklärung zeigen. 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 des Vortrags kann man sich die Spielzeuge selbstverständlich ansehen.

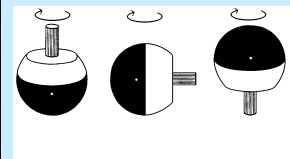
Dann werde ich zwei Spielzeuge etwas genauer behandeln. Am Ende werde ich etwas über Literatur zu physikalischen Spielzeugen erzählen, auch Hinweise wo man solche Objekte bekommt und auch auf links zu physikalischem Spielzeug im Internet eingehen.

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



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.

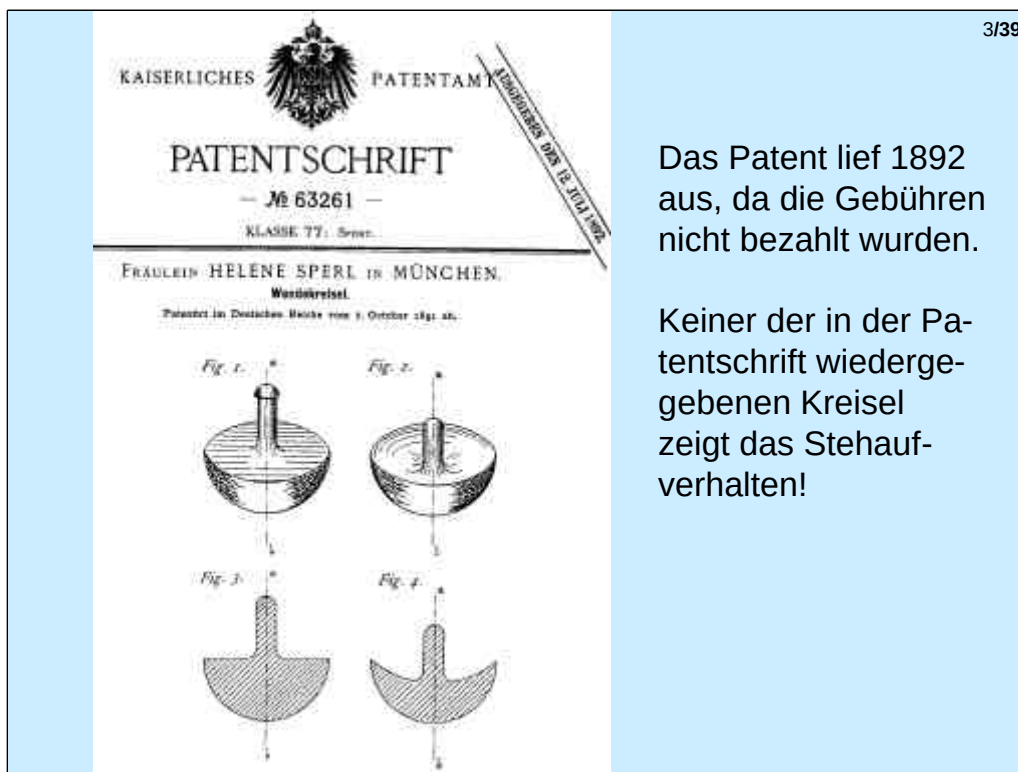
Es gibt meines Wissens aber keine einfache, plausible Erklärung für das Stehaufverhalten dieses Kreisels. Und das ist natürlich nicht befriedigend, insbesondere nicht für Lehrer.

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.

(Im Juli 1999 hielt Dr. E. Pehlke seinen Akademischen Vortrag zum Stehaufkreisel an unserer Fakultät über den Stehaufkreisel.)

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 Drehimnuls.



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.

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>



Griechischer Junge spielt Yo-Yo

Vasendekoration 450 B.C.
Antikenmuseum Berlin



Physiker spielt Yo-Yo

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

Paralyse
durch
Analyse?

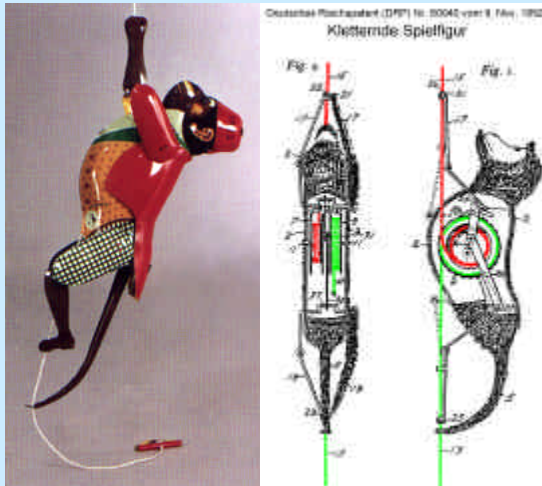
Ein sehr populäres Spielzeug ist das Jo-jo. Links sieht man einen griechischen Jungen damit spielen. Vermutlich konnte er gut damit umgehen, wusste aber nichts über die Physik. Der Mann auf der rechten Seite kennt hingegen offenbar die Physik perfekt – die Formel in der Sprechblase beschreibt jedenfalls 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.

Another very popular toy is the Yo-yo. On the left a Greek boy plays Yo-Yo. Probably he could play this toy very well but knew nothing about the physics. The man on the other side knows the physics perfectly – the formula in the bubble correctly describes the movement of a Yo-Yo. Whether he could play a Yo-Yo is not so important.

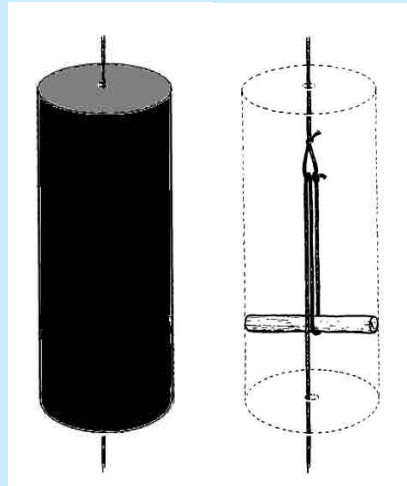
The physics of the Yo-Yo is well known and not so complicated. There are publications for experiments in schools, especially for the so-called 'Maxwell wheel'.

Kletteraffe



Die geheimnisvolle Röhre

Nat.Wiss. im Unterricht 9, Febr. 1998

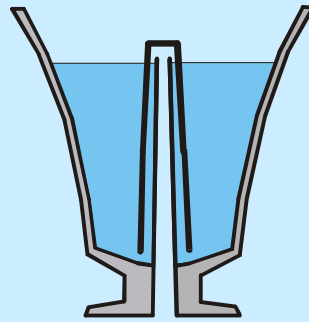


Für Kinder – und nicht nur für Kinder – ist es immer interessant, wenn ein Spielzeug ein Überraschungsmoment enthält. Der Kletteraffe auf der linken Seite ist eine Konstruktion aus dem vorigen Jahrhundert. Zieht man an der Schnur nach unten klettert der Affe nach oben. Wie ist das möglich?

Bei diesem Zylinder führt ein Ziehen an der unteren Schnur ebenfalls zu einer Aufwärtsbewegung. Wenn man hineinsieht, ist fast nichts drin.

In beiden Fällen ist eine Art Flaschenzug enthalten. Das Blechspielzeug sollte man besser nicht öffnen, um das Innere zu erforschen. Es ist schwierig es wieder zusammenzubauen.

Ich gehe jetzt nicht weiter auf Einzelheiten ein. So sollte ein Lehrer es nicht machen. Hier möchte ich ja nur eine kleine Auswahl von Spielzeugen zeigen.



Prinzip des Siphons

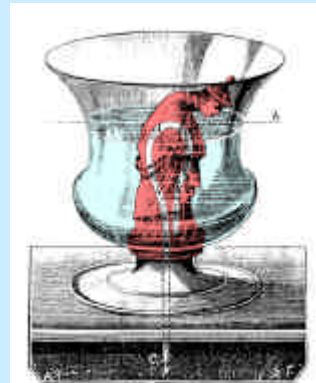
KERAMIK TRINKBECHER VON PYTHAGORAS (530 v.ch.)

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 goroohton Trinkbecher" anfertigte.

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

KOUMARADEI, SAMOS - GREECE
☎ (0273) 41284

KLIRONOMOS



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?

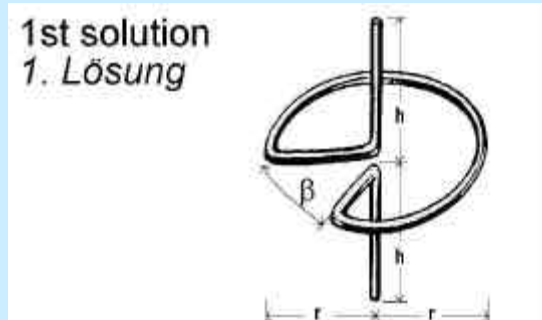
Der Text stammt von dem Originalbeilagezettel von der griechischen Insel Samos. Es enthält keine physikalischen Erklärungen. Man sollte sich nicht über die Rechtschreibung lustig machen: mit "don goroohton Trinkbecher" ist der "gerechte Trinkbecher" gemeint.

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.

Der Büroklammerkreisel (Sakai-Kreisel)

8/39

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



$$\beta = 53.13^\circ$$

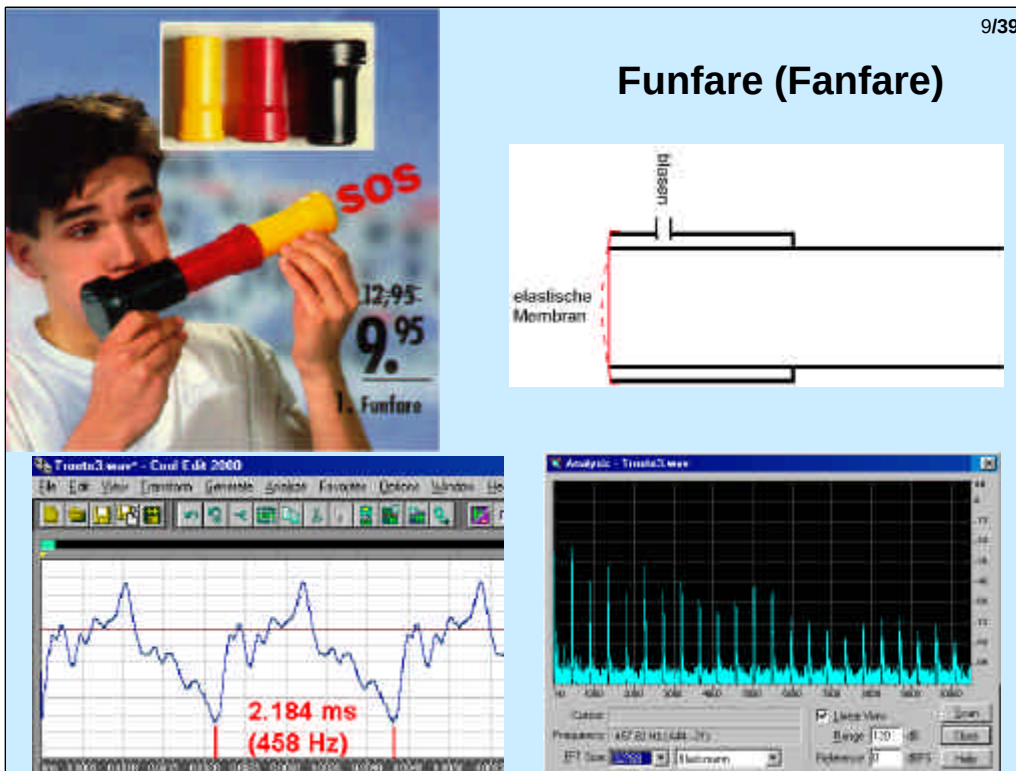
Wie lässt sich aus einer Büroklammer ein Kreisel machen. Die Büroklammer ist nur als Beispiel für einen leicht erhältlichen Draht definierter Länge gemeint. Prof. Sakai aus Japan hat dazu eine Idee entwickelt, die er als Übungsaufgabe für seine Studenten gedacht hat. Ob die Studenten sehr erfreut waren,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

How can you make a top out of a paper clip. 'Paper clip' stands only for an easily available piece of wire. Professor Sakai from Japan proposed a nice idea. He used it as an exercise for students of mechanical engineering. I doubt that the students were amused.

This is the solution he proposed. This solution needs no soldering or gluing. One can recognize the axis of the top. To get a big moment of inertia the wire should have a large distance from the axis. But there also has to be a connection between the arc and the axis – the spokes. The interesting question is the size of the angle! If the angle is too big or too small, the center of gravity will be not in the axis.

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.

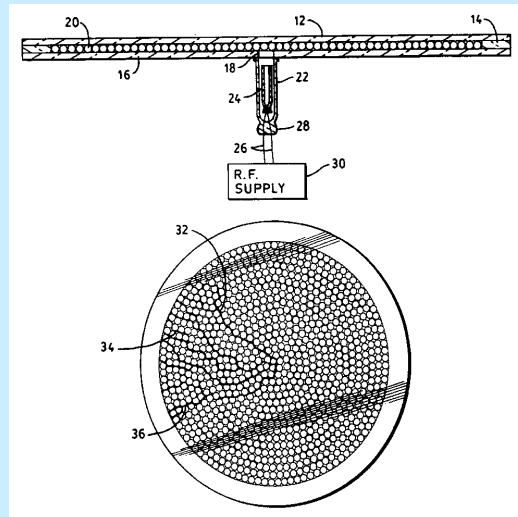
Warum nicht?

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

Plasmascheibe – Luminous Display Device



United States Patent 5,383,295 Jan 24 1995



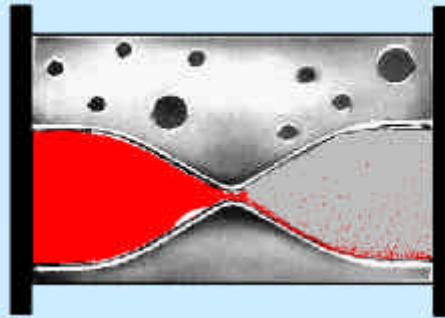
Spannungen von einigen Kilovolt führen bei einer Frequenz von etwa 40kHz zu Plasmaentladungen. Edelgase wie Xenon und Neon werden bei einem Druck von etwa 1 bis 100hPa zum Leuchten angeregt. Glaskügelchen zwischen den Glasscheiben sind mit einem fluoreszierendem Belag versehen, der ein Kontinuumsspektrum 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 erscheint demnächst in der Zeitschrift 'Physik in unserer Zeit'



Paradoxe Sanduhr



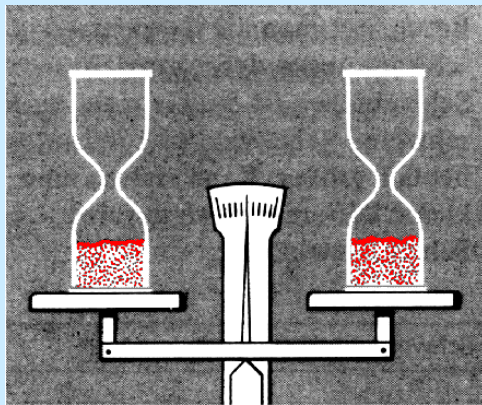
Eine weiß-blaue, bayerische Sanduhr. Natürlich läuft sie anders herum als normal. Wie kann das sein?

Die Sanduhr gibt es auch in rot und weiteren Farben.

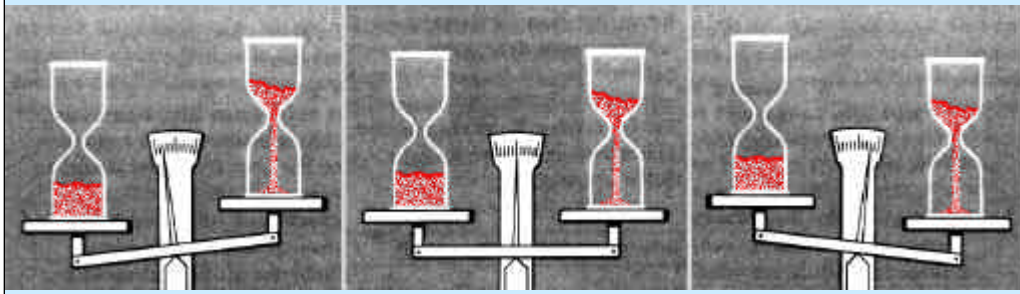
Im Inneren befinden sich kleine Kügelchen aus Polyethylen in einer gesättigten Lösung von Kalziumchlorid in Wasser. Die Dichte der Kügelchen ist kleiner als die der Flüssigkeit.

Dreht man die Sanduhr zur Seite, kann man sogar einzelnen Kügelchen aufwärts schweben sehen.

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



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

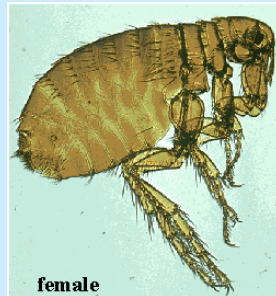


Zu dieser Frage gibt es eine Reihe von Publikationen mit unterschiedlichem Ergebnis (siehe meine Datenbank).

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

Springtiere

13/39



↑
2mm
↓

Pulex irritans
(= Menschenfloh)

Sprunghöhe $h \approx 0,5m$

Beschleunigungstrecke $d \approx 2mm$

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

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

Mensch $\approx 3g$

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

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

A flea jumps up to a height of about $h = 0.5m$. It accelerates along a distance of about $d = 2mm$. This leads to an acceleration of $a = h \cdot g / d = 0.5m \cdot g / 0.002m \gg 250g$ ($g = 10ms^{-2}$; uniform acceleration assumed).

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. A man can only achieve up to $3g$ with a standing high jump.

Springenspielzeug

14/39



← käufliche Exemplare

Eigenbau →



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.

Es lässt sich auch mit passablen Aufwand aus üblichen Saugern für Bad/Küche selbst bauen. Da wird die Basis beim Absprung allerdings nicht mit hochgezogen.

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

A small toy known as jumping animal or pop-up makes some investigations easier and can illuminate the physics of jumping. The toy itself consists of a base, a spring, a rubber cup and a head. You have to press the cup onto the base and thus load the spring. After some time the cup will loosen itself and the toy will jump up.

Springspielzeug

15/39

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

$$\Rightarrow E_{\text{pot}} = mgh = 0.0145\text{kg} \cdot 10\text{ms}^{-2} \cdot 1.2\text{m} = \mathbf{0.17\text{J}}$$

Zusammendrücken auf einer Waage

$$F \approx 19\text{N} (= 1.9\text{kg}; \pm 10\%); \quad d \approx 3.2\text{cm} (\pm 10\%)$$

$$\text{Federsteife } c = F/d \approx 590\text{Nm}^{-1}$$

$$\Rightarrow E_{\text{Feder}} = 0.5 \cdot c \cdot d^2 = 0.5 \cdot 590\text{Nm}^{-1} \cdot 0.032^2\text{m}^2 = \mathbf{0.30\text{J}}$$

$$(\Rightarrow h = E_{\text{Feder}}/mg = 2.1\text{m})$$

$$\text{Startbeschleunigung des Kopfes } a = F/m_1 - g \approx 190\text{g}$$

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

$$\text{Startbeschleunigung der Basis } a = F/m_3 - g \approx 525\text{g} \quad !!!$$

$$(m_3 = \text{Basis} + 1/3\text{Feder} = 0.00369\text{kg})$$



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. Daraus lässt sich die Federkonstante berechnen, woraus sich wiederum die in der Feder gespeicherte Energie ermitteln lässt.

Die potentielle Energie der Sprunghöhe stimmt nicht mit der in der Feder gespeicherten Energie überein! Darauf komme ich noch zurück.

Sehr einfach kann man auch die Startbeschleunigung des Kopfes berechnen, wobei sich sehr große Werte ergeben. Da die Basis eine noch kleinere Masse hat, ist ihre Beschleunigung noch viel größer.

Springspielzeug

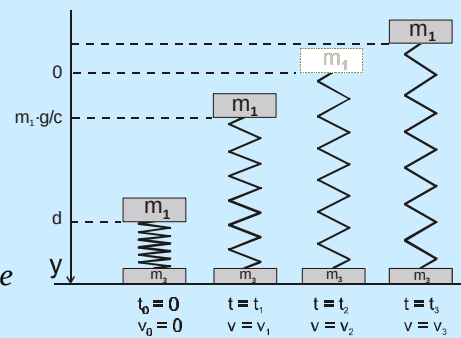
16/39

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 – potentielle kinetische
 energie Energie Energie

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

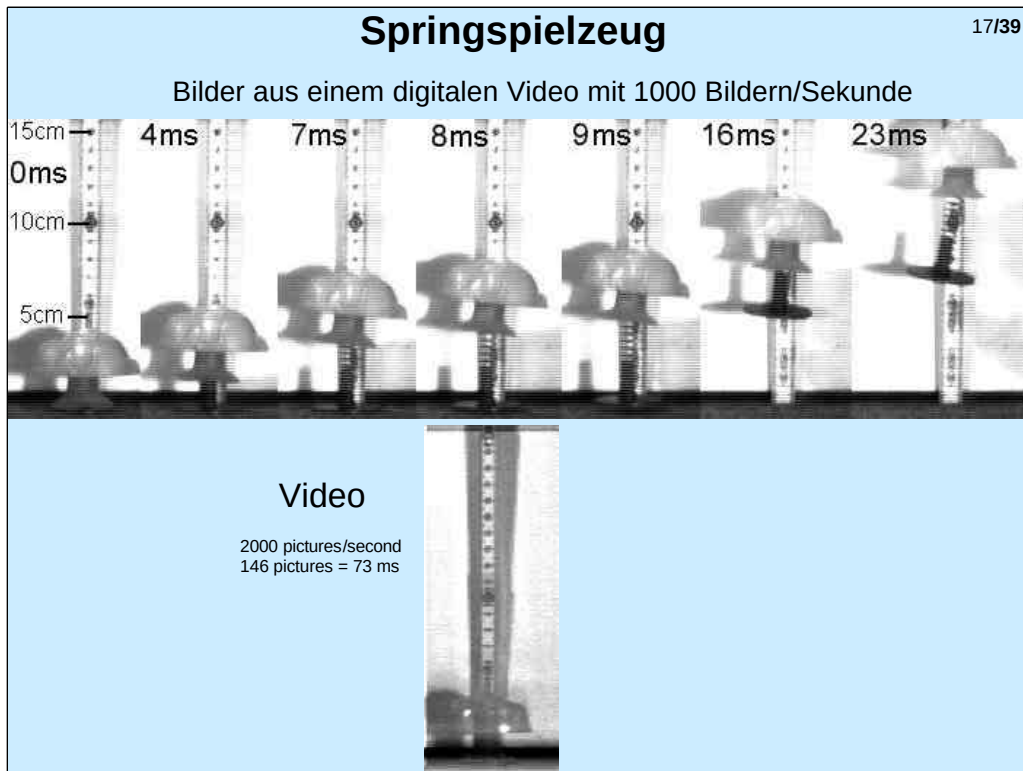


Um die Maximalgeschwindigkeit des Kopfes zu berechnen, kann man die Energien betrachten.

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?



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.

Extract from a high speed video of the starting phase. At 0ms the toy starts; at 7ms the head of the toy reaches its maximum velocity; at 8ms the base leaves the floor; at 9ms the spring is stretched to its maximum; at 16ms the spring is maximally compressed; at 23ms the spring is again maximally stretched. The pictures are not sharp because the higher the speed of the video camera, the worse the resolution.

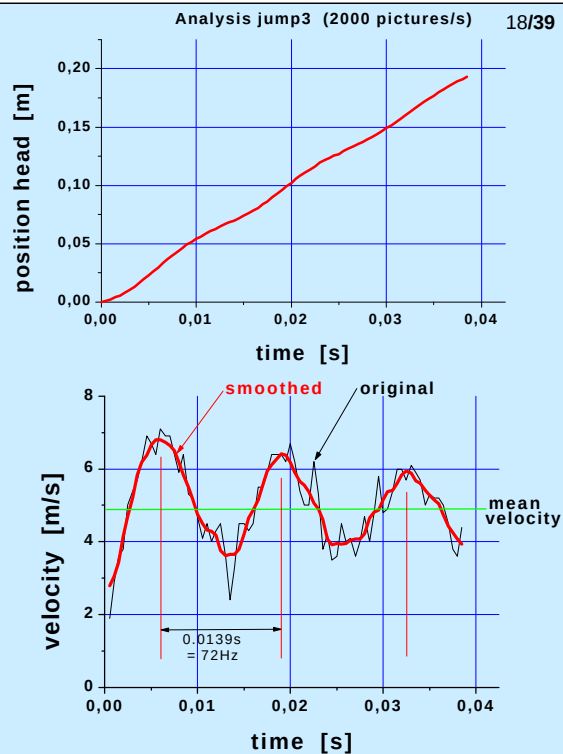
The spring oscillates. This can not be observed with the naked eye because the oscillating frequency is about 70Hz.

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.

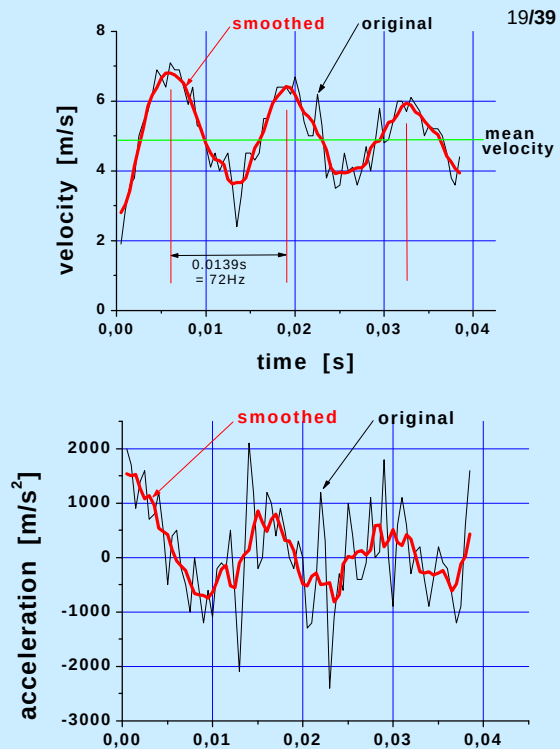
Daraus wurde mit Hilfe des Auswerteprogrammes Origin die Geschwindigkeit ermittelt. Die Maximalgeschwindigkeit von etwa 7m/s stimmt näherungsweise mit der berechneten Maximalgeschwindigkeit von 8m/s überein.

By video analysis, the position of the toy's head is extracted and shown in the upper figure. This seems to be like a bad drawn straight line. But it contains much information. If you analyze this you get the bottom figure. It shows the velocity as a function of time. The maximum velocity of the head is about 7ms^{-1} . This is comparable to the calculated value of 8ms^{-1}

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/s-2. Das entspricht wiederum hinreichend dem berechneten Wert.

In the upper figure the velocity of the head is shown again as a function of time. The bottom figure is derived from that and shows the acceleration. The data are smoothed because the double derivation leads to large fluctuations. The measured acceleration of about 200g corresponds with the calculated value. One has to be careful with smoothing. Especially, the data near $t = 0$ are corrupted by this procedure.

Springspielzeug Sprunghöhe

Impulssatz

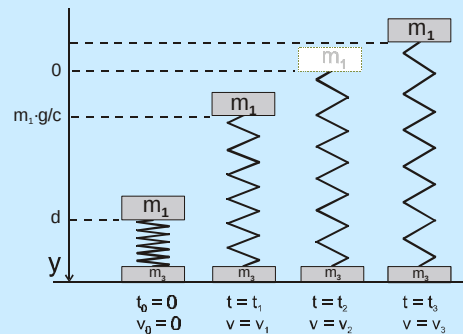
$$m_1 v_1 = (m_3 + m_1) v_3$$

Geschwindigkeit des Kopfes

$$v_1 = \sqrt{\frac{c}{m_1} \left(d - \frac{m_1 g}{c} \right)} = \sqrt{\frac{c}{m_1}} d$$

Sprunghöhe

$$h_3 = \frac{v_3^2}{2g} = \frac{1}{2g} \left[\frac{m_1 v_1}{m_3 + m_1} \right]^2 = \frac{1}{2g} \left[\frac{m_1}{m_3 + m_1} \right]^2 \frac{d^2 c}{m_1} = \frac{d^2 c \cdot m_1}{2g(m_3 + m_1)^2} = 1.38m$$



Die Sprunghöhe kann aus Impulssatz und Geschwindigkeit des Kopfes berechnet werden. Hier kann die Masse der Feder selbst nicht vernachlässigt werden. Mit ihrer Berücksichtigung ergibt sich eine realistische Sprunghöhe.

Springspielzeug

21/39

Mechanische Energie geht im Gummisauger verloren

Mehrere Windungen der Feder werden beim Zusammendrücken in den Gummisauger hineingepresst und können sich nur mit Reibung entspannen.

Außerdem vollführt das Spielzeug kaum kontrollierbare Drehungen und Saltos, die ebenfalls Energie benötigen.

Diese Teile sind quantitativ kaum abzuschätzen.

Darüberhinaus steckt Energie in der Schwingung:

$$E_{\text{Schwingung}} = 0.5c(r_0^2 - r^2) \approx 0.5 \cdot 590 \text{ Nm}^{-1} \cdot 0.01^2 \text{ m}^2 = 0.03 \text{ J}$$



Diverse Möglichkeiten zur Energiedissipation sind vorhanden.

Mit Hilfe der Differentialrechnung lassen sich die Fragen eleganter behandeln. Beim Startvorgang kann man die wohlbekannte DGL einer an einer Feder hängenden Masse (harmonischer Oszillator) ansetzen, bei der Reibung vernachlässigt ist

$$m_1 \ddot{y} = m_1 g - cy$$

Die Lösung lautet mit den Anfangsbedingungen $\dot{y}(0) = 0$ und $y(0) = -d$

und

$$y(t) = \frac{m_1 g}{c} + \left(d - \frac{m_1 g}{c} \right) \cos \left(\sqrt{\frac{c}{m_1}} t \right)$$

$$\dot{y}(t) = \sqrt{\frac{c}{m_1}} \left(d - \frac{m_1 g}{c} \right) \sin \left(\sqrt{\frac{c}{m_1}} t \right)$$

Für $t = \frac{p}{2} \sqrt{\frac{m_1}{c}}$ ($= 0.0062s$) ergibt sich die Maximalgeschwindigkeit

Aus dieser Rechnung lässt sich auch entnehmen, dass ein normales Video mit 25 Bildern pro Sekunde (bzw. 50 Halbbilder pro Sekunde) nicht ausreicht, um den Startvorgang aufzunehmen. Zeitlicher Abstand der Halbbilder ist nämlich 20ms (bzw. 40ms für die Vollbilder).

Gerard/Dufresne/Leonard

Physics Teacher/Febr. 2001

This model assumes a damping force that is proportional to the relative velocity of the two springbok masses. This model does not attempt to take into account sliding friction. To obtain a "simple" expression for the time at which the springbok leaves the table, we assume that the damping coefficient is small.

Phase 2 simplified equations of motion:

$$\mu \ddot{y} = -b\dot{y} + k(L - y)$$

$$M\ddot{Y} = -Mg$$

Phase 2 solution:

$$y(t) = L + Ae^{-\delta t'} \cos(\lambda t' - \theta) + \frac{v_0}{\lambda} e^{-\delta t'} \sin \lambda t'$$

$$Y(t) = Y_0 + V_0 t' - \frac{1}{g} g(t')^2$$

where:

$$A = \frac{m/g}{k} + \frac{v}{k} \left\{ -Mg \sin^2 \varphi + \tan \varphi \left[(kD - m_\mu g)^2 - (Mg \cos \varphi)^2 \right]^{1/2} \right\}$$

$$\delta = \frac{b}{2\mu} \quad \tan \theta = \frac{\delta}{\lambda}$$

$$\lambda = \sqrt{\beta^2 - \delta^2} \quad \sin \theta = \frac{\delta}{\beta}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{k}{\mu}} \quad \cos \theta = \frac{\lambda}{\beta}$$

$$v_0 = \frac{\alpha}{k} \left\{ Mg \tan \varphi + \left[(kD - m_\mu g)^2 - (Mg \cos \varphi)^2 \right]^{1/2} \right\}$$

$$Y_0 = \frac{m_\mu}{M} (L + A) \quad V_0 = \frac{m_\mu}{M} v_0$$

$$t' = t - \frac{1}{\omega} \left[\cos^{-1} \left(\frac{Mg \cos \varphi}{m_\mu g - kD} \right) - \varphi \right]$$

Die Amerikaner Dufresne, Gerace & Leonard haben zwei durch eine Feder verbundene Massen noch genauer untersucht. Sie nehmen allerdings an, dass die Feder masselos ist!

Dufresne, R.J. et al.: Springbok: The Physics of Jumping, The Physics Teacher **39** (2001), 109-115.

Mit aller Vorsicht darf ich darauf hinweisen, dass ich meine Rechnungen schon vorher veröffentlicht habe. Ebenso die die Messungen.

Technische Universität München

Fakultät für Physik

My second example comes from optics. You need special glasses that I am going to give you here. Please give me these glasses back at the end. I need them for my next talks. You can order them through the internet and perhaps buy them also in shops?

Does everybody have a sample now?

Please have a look at this text. You should normally see the red word in the foreground and the blue in the background. There may be some people who see just the red word in the background.

And probably some of you will not see a three-dimensional effect. Between 5 to 10% of the population has no three dimensional vision. And it is an interesting question to discuss the reasons in a class and to find out who does not have 3D-vision

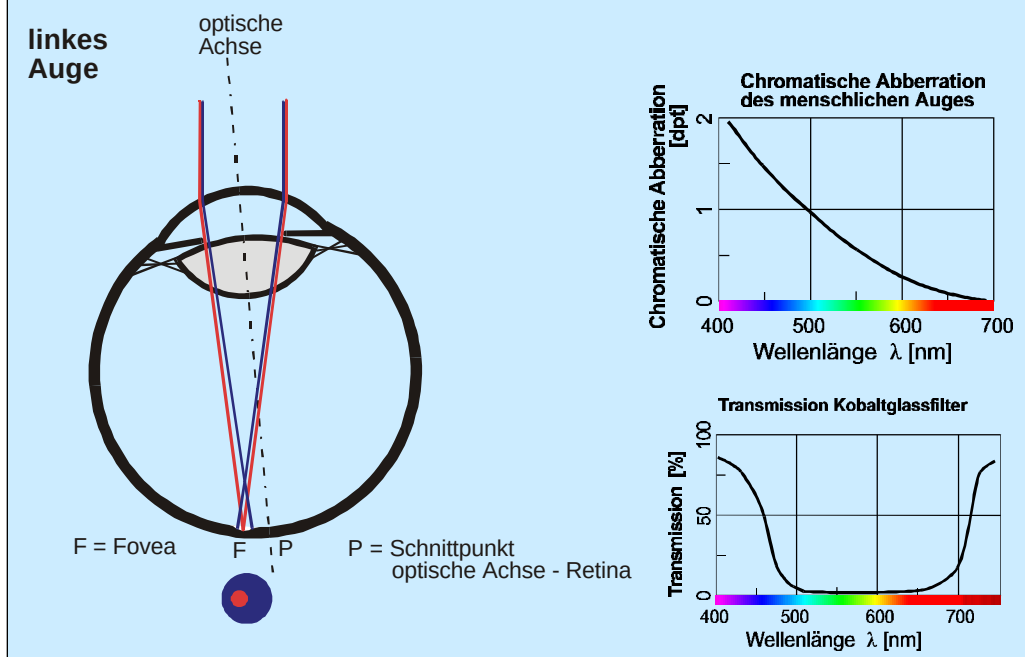
The question is how to explain the 3D effect here? There are no polarizing glasses. There are also no red-green glasses. Furthermore you have only one picture here and not a stereoscopic pair of pictures.

If you look through the glasses you will not recognize what goes on there.



There are several toys on the market in which these glasses are included.
Here I have an example with which you can paint your own 3D pictures

Chromatische Aberration im menschlichen Auge ^{26/39}

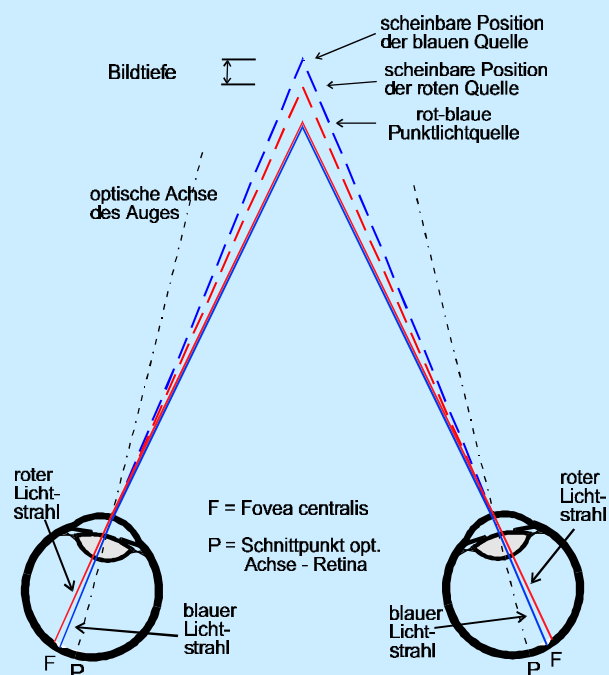


The explanation is surprising. In principle the human eye is a bad optical device. It is not an optically centered system. This means the fovea, that is that part of the retina with which we see sharp, lies not on the optical axis.

It has also a relatively large chromatic aberration. This means that if you look at a point light source which contains red and blue light, you will see either a red point with a blue blurred circle or vice versa. Furthermore the red point is not centered in the blue circle.

Farbstereoeffekt bzw. Farbtiefeneffekt

Einhoven 1885

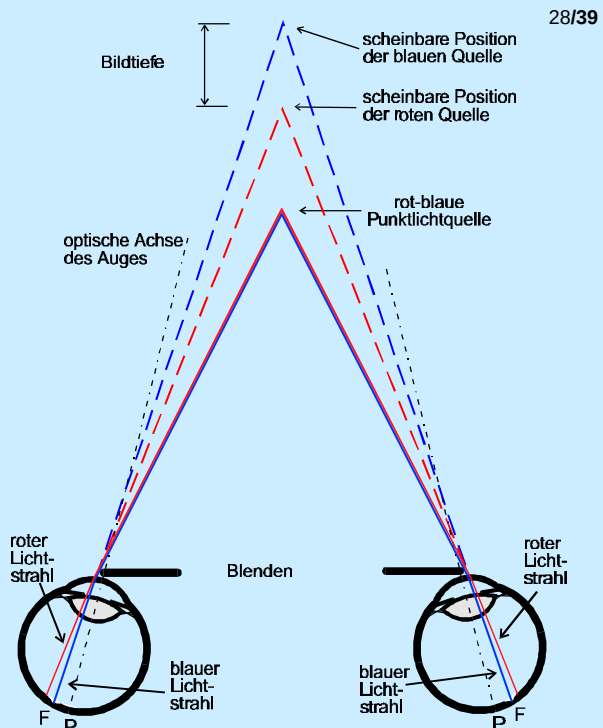


If you look with two eyes at such a red-blue point source, the red image of the source lies on another point of the retina than the blue image. In both eyes just in the opposite way. Your brain interpretes this as if there is an image depth between the red and the blue source. The dashed lines leads to the apparent image positions.

This is long known as Chromostereoscopy or Colour Stereo Effect. If you know this effect you can see it with appropriate pictures or situations.

The idea is now simple: If it were possible to amplify the chromatic aberration the colour stereo effect should be greater.

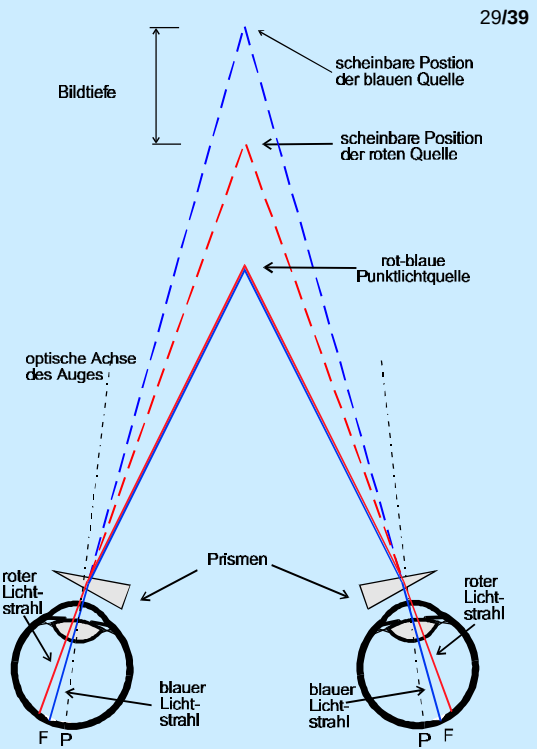
Verstärkung des Farbstereoeffektes durch Blenden



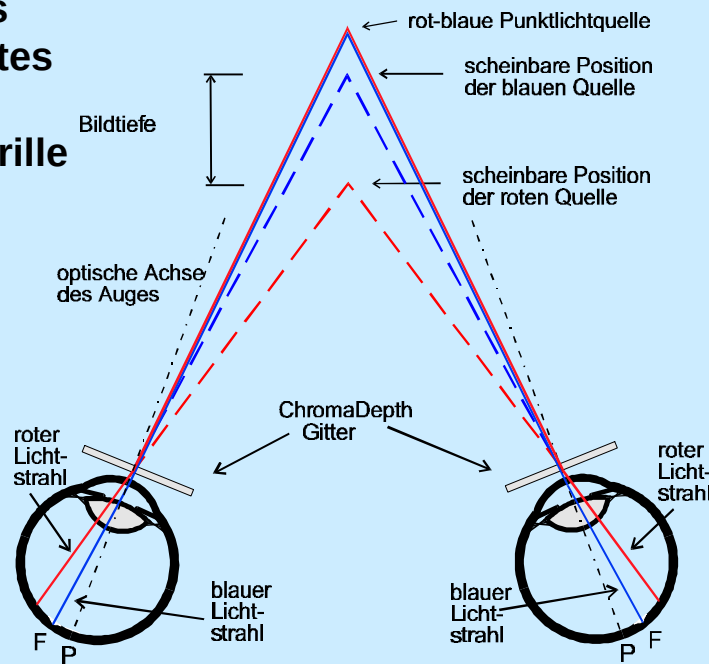
You can achieve this only with diaphragms in the right position. As diaphragms you can take your fingers. Or two pencils. Cover the inner (nasal) half of the cornea with the diaphragms. Now the light can pass only through the outer (temporal) parts of the cornea. And there, it is refracted stronger because the incidence angle is larger. This leads to a larger distance between the red and blue image on the retina and thus to a greater stereo effect.

This experiment needs some time and experience. If you are not successful now, try it later. Try also what will happen if you cover the temporal parts of your corneas.

Verstärkung des Farbstereoeffektes durch Prismen



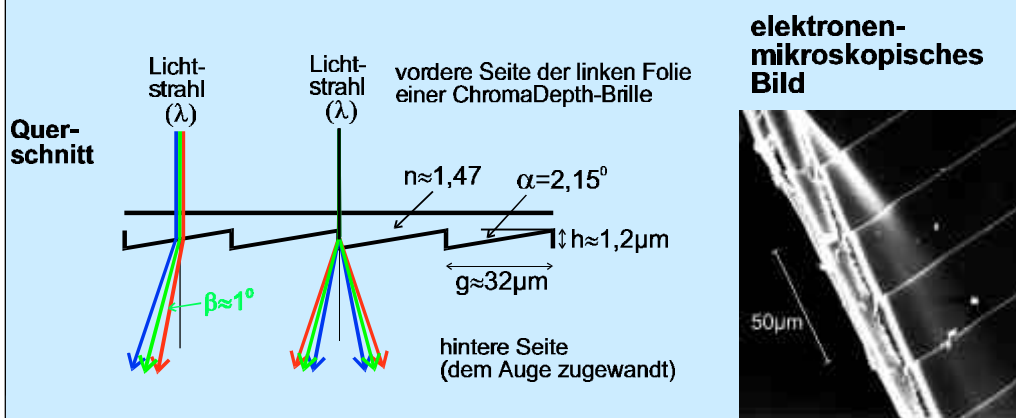
Verstärkung des Farbstereoeffektes durch die Chromadepth-Brille



Another possibility to get a larger dispersion are gratings. But normal gratings have several diffraction orders. This would be not appropriate for our purposes. But for more than 100 years, astrophysicists have used so called blazed gratings. They have always had the problem to analyze the very weak light from stars. So they had to use all the light they could collect. They have done it with a combination of reflection gratings with etched prisms and these gratings are called blazed gratings.

About ten years ago, an American company developed a blazed transmission grating. This sounds simple but was technologically very difficult. And you find this product in these glasses. With the naked eye you cannot see the grating. I have asked the company to give me the physical data of their gratings but they refused to send me the details.

Blaze-Gitter der Chromadepth-Brille



Blaze-Gitter-Bedingungen:

Beugung: $\lambda = g \cdot \sin \beta$

Brechung: $n \cdot \sin \alpha = \sin(\alpha + \beta)$

That is why I asked a colleague in my physics department to analyze the surface with a force microscope and an electron microscope. The result is this cross section. You can see the prisms through which the light is refracted. On the other hand, there is the grating by which the light is diffracted. The right combination of both leads to the fact that – for one wavelength – all the light is collected into the first order diffraction on one side only. In reality the prisms and grating are not perfect. Furthermore, you have several wavelengths. This means that the efficiency of the blazed grating is not perfect but sufficient

Technische
Universität
München

Technische Universität München

Bei weißem Hintergrund kann sich der Stereo-Effekt umdrehen. Wieso?

Bei weißem Hintergrund gibt es an den Kanten der Buchstaben eine spektrale Zerlegung. Die Farben der Kanten addieren sich zum weißen Hintergrund bzw. den Farben der Buchstaben und bewirken damit eine Verschiebung auf der Netzhaut, die die Umkehrung des Stereo-Effektes hervorrufen (siehe für eine detailliertere Erklärung **Campenhausen, Chr. V.:** Die Sinne des Menschen, Thieme-Verlag, Stuttgart)

Bookmarks Location: <http://www.chromatek.com/index.shtml>



ChromaDepth Technologies

www.chromatek.com

[Order HoloPlay™ or C3D™ Glasses](#)
[Image Gallery](#)

[Site Map](#)
[Search](#)
[E-mail us](#)
[Animations](#)

[ChromaDepth Primer](#)
[Definitions](#)
[CyberHolograms](#)
[FAQ](#)
[Image Galleries](#)
[Animations](#)
[Applications and Links](#)
[Image Design](#)
[The Chromatek Store](#)
[Printer Friendly Reference](#)
[Press Releases](#)
[SIGGRAPH '99](#)



Special Welcome to SIGGRAPH '99 Attendees!

What we do at Chromatek:

We *only* make and sell ChromaDepth™ 3-D Glasses. These incredible, clear micro-optic glasses transform color images into true stereo 3-D. There is no special software required to create ChromaDepth™ 3-D images (also called *CyberHolograms™*). This website will teach you how to make your own 3-D images with your favorite graphics software. In fact you don't even need software - you can even create a



A CyberHologram

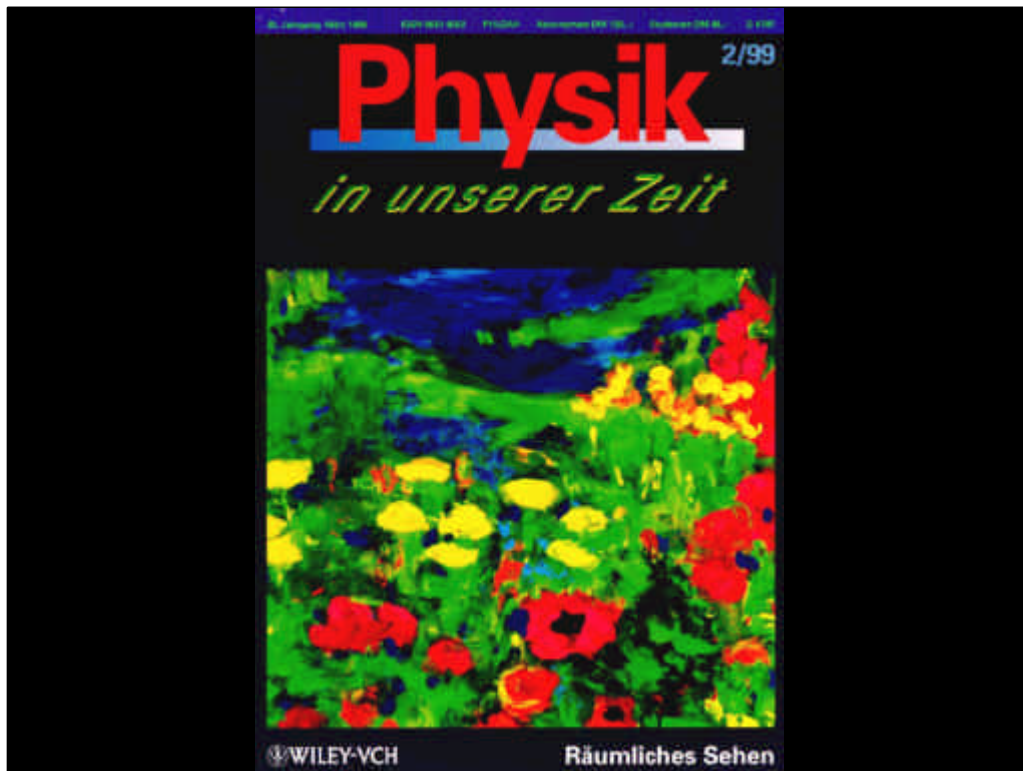
CyberHologram™ with *crayons!*

ChromaDepth™ 3-D is versatile, effective, and inexpensive: the only 3-D process practical for *all* media, including the Web. Chromatek is the *only* manufacturer of ChromaDepth™ 3-D optics in the world.



HoloPlay Glasses

Many further examples exist on the homepage of the company which manufactures these glasses. You can order these glasses directly through the internet.

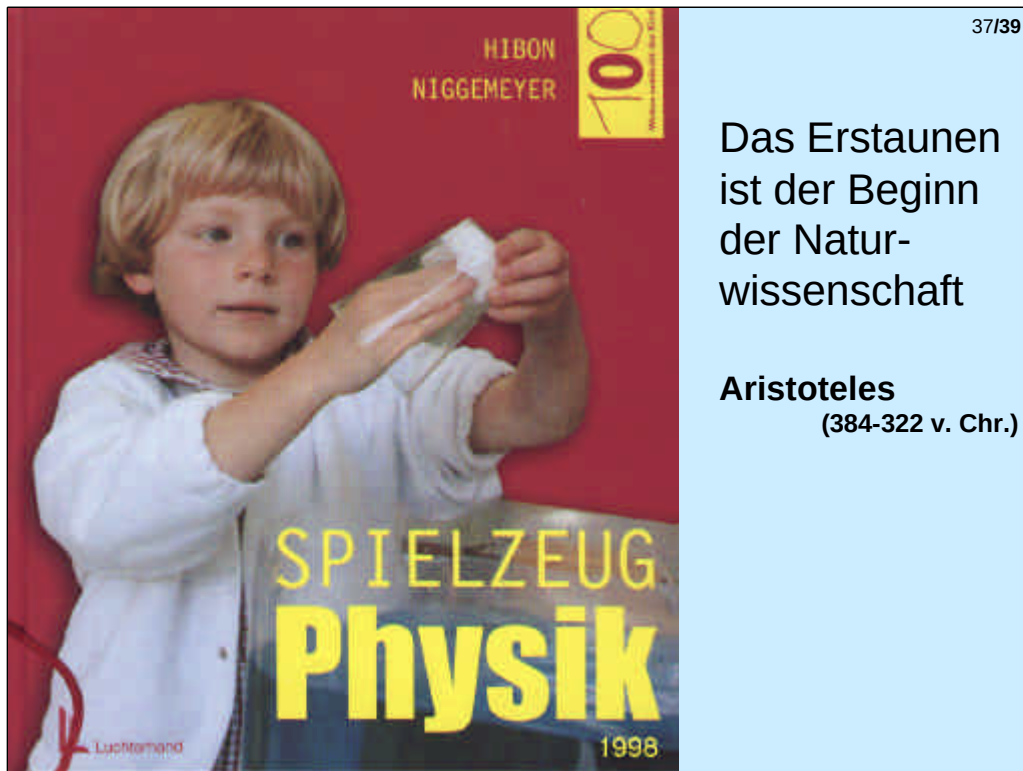


This is the cover of a popular German physics journal where I published an article about the Colour Stereo effect. It is in German. But on my homepage you can also find an English version.

Artists have always made use of the colour stereo effect. Even without the Chromadepth-glasses, red will appear in the foreground and blue in the background.



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.



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

38/39

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.

URL: <http://www.e20.physik.tu-muenchen.de/~cucke/>
oder einfach in eine Suchmaschine 'UCKE' eingeben

39/39

	Dr. Christian Ucke Technische Universität München Physikdepartment E20 85747 Garching Germany Tel. +49 89 28912399 Fax: +49 89 28912338 e-mail: cucke@ph.tum.de	
---	--	---

[zur Person](#)



Tätigkeiten



[same page in English](#)

- Leitung des [physikalischen Praktikums für Physiker](#)
- Didaktik physikalischer Praktika (siehe [Publications](#))
- Physikalische Spielzeuge (siehe [Publications](#) bzw. Daten zum herunterladen [Download](#) bzw. [Physikalische Spielzeuge im WEB](#))
- [Literaturdatenbank zu physikalischen Spielzeugen](#)

At the end, I am going to mention my own homepage, where you can find many references. My own publications, but also many links for other web pages related to physics toys.

There is also a database for literature about physics toys which I try to maintain.