

Pottlachers 4^{te} Pöllauer Experimentiervorlesung

am 14.11.2025



Meine Mitarbeiter:

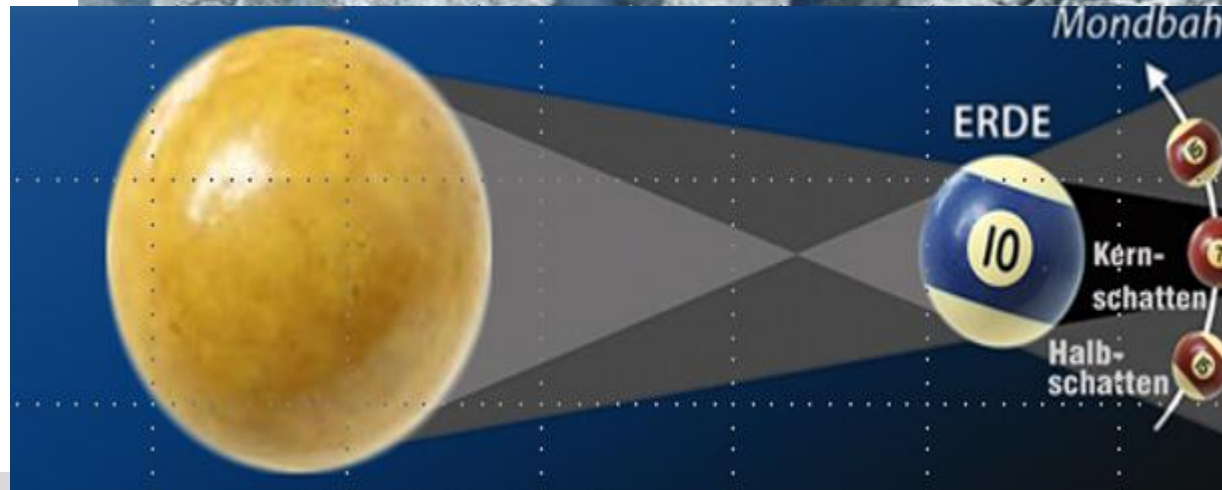
Dr. Roland Lammegger - Kamera

Dr. Sonja Draxler - Computer

Roland Flois - Assistenz

Vincent Jenner - Licht

Gerhard Kelz - Finanzchef



Pottlachers 4te Pöllauer Experimentiervorlesung

Physikexperimente mit Kugeln



Nr	Singing Tesla, Bubblefubble	min
Einführung KUGELGERÄTE:		
	Sputnik, Levitationsapparatur, Globus, Chronoglobium	
	Schallpegelmessgerät, Windgeschwindigkeit, Brinellhärte	
	Couloumb-Waage, Galilei-Thermometer, Siliziumkugel	
	Additives Laser Manufacturing, Bälle im Sport	9
MECHANIK		
1	Foucault Pendel in Basilika	1
2	Becher schneller als Kugel	2
3	Newton Cradde, 50 Billardkugeln	5
4	Happy, unhappy Ball, Thunderpops, Impulskanone	2
5	Kugel auf Seil - Zentrifugalkraft	2
6	Hochheben Kugel mit Zentrifugalkraft	2
7	Kugel aus Reisbecher Lawinenairbag	2
8	Kugellager, Schmiernippel, HD-Diode, Fahrradventil, Kugelhahn	2
HYDROMECHANIK		
9	Kugel im Trichter	2
10	Bernoulligleichung mit 2 Christbaumkugeln	2
11	Dropper - Grosse schneller als Kleine	2
12	Hg - Grosse fressen Kleine	2
13	Schwebender Ball - Luftstrom - Wasser - N2	2
14	Bernoulli-Blaster	3
15	Magdeburger Halbkugel	5
16	Durchflusszähler Gas mit Kugel	2
17	Zähigkeitsgerät Science Kit	2
18	Allseitigkeit des Drucks	2
19	Kugel im Überraschungsei	2
20	Auftrieb im Vakuum Styroporkugel	2

SCHWINGUNGEN

21	Gradient mit Kugel in Schüssel	2
22	Gekoppelte Kugeln in Schüssel	2
23	Chladnische Klangfiguren	2
24	Pickende Hühner	2
25	Pendel des Todes	2
26	Pendel in Fernseher	3

WELLEN

28	Transversale Welle Longitudinal Kugelmodell?	2
29	Lochsirene	2
30	4 Christbaumkugeln - Helmholtzresonator	2
31	Pendulum wave toy	5

OPTIK

32	RGB-Kugel mit TTball	2
33	Sonne Mond	2
34	Ist die Erde eine Kugel?	2
35	Christbaumkugeln in Mikrowelle	2
36	Wiener Schneekugel	2

WÄRME

37	Erwärmung Eisenkugel	3
38	Leydenfrost auf Herdplatte	2
36	Eissprengkugel	3

ELEKTRO

37	Influenzmaschine - Funken	2
38	Inneres Leiter feldfrei	3
39	Kugeltanz	2
40	Ball im Kondensator	2
41	Stirlingmotor	2
42	Tesla egg	2
	Tesla Transformator mit LL	2
43	FINALE	
	Petflasche	3
	Foucault-Pendel	

Sputnik

The flight begins on October 4, 1957 at 19:28:34 GMT.

The end of the flight is January 4, 1958.

The weight of the device is 83.6 kg.

The maximum diameter is 0.58 m.

The inclination of the orbit is 65.1° .

The circulation period is 96.2 minutes.

Perigee - 228 km.

Apogee - 947 km.

The number of turns around the Earth is 1440.

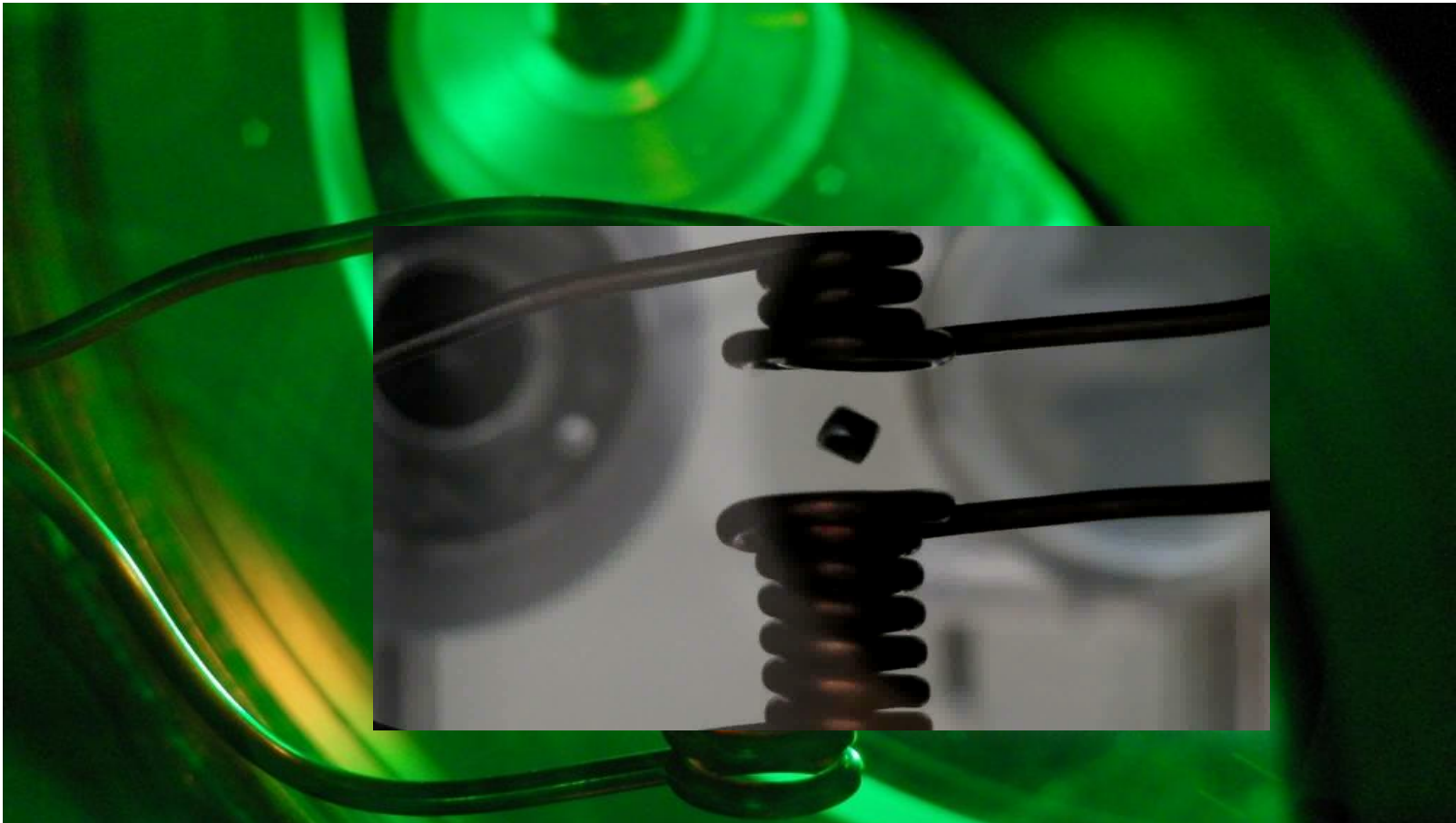
28000
km/h



1957

4 октября 1957

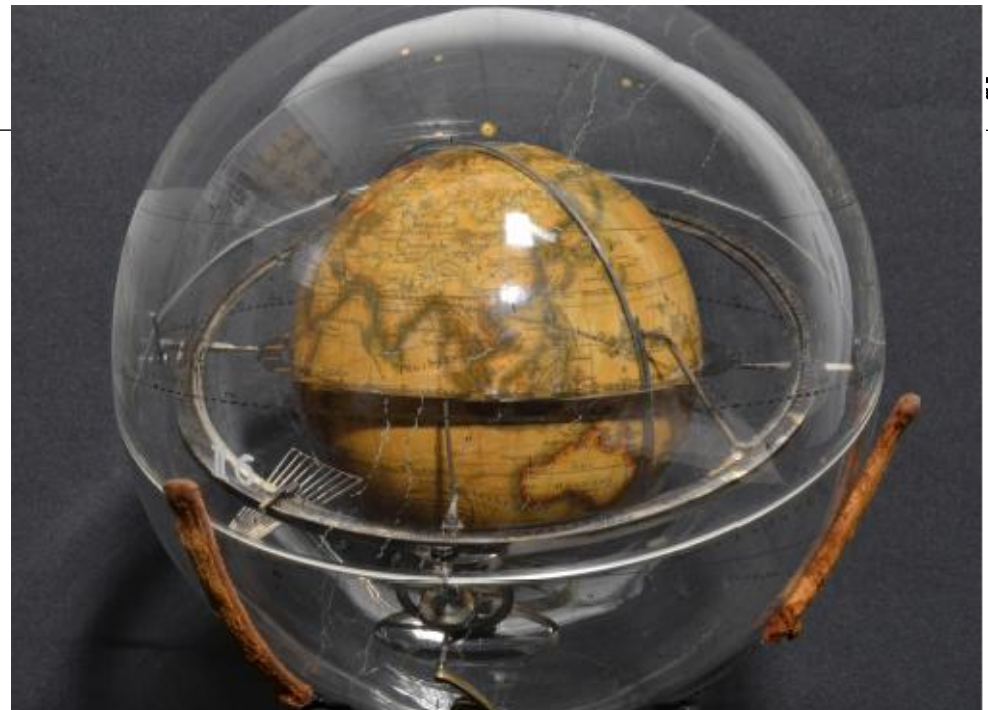
Levitierende Aluminium Probe, Levitationslabor Arbeitsgruppe Metallphysik Pottlacher



Erd- und Himmelsglobus in der Österreichischen Nationalbibliothek



Chronoglobium



Das Chronoglobium wurde also dazu verwendet, die Erde, Sonne und Mond in Laufe der Jahreszeiten darzustellen. Dabei ist die äußere Kugelschale, ein aus Glas gefertigter Himmelsglobus mit einer Wandstärke von rund 6 mm. Dieser besteht aus 2 Halbschalen, ist rund 10 Zoll im Durchmesser und darauf aufgetragen sind alle Sternbilder, wenige, einzelne Sterne sind in Goldfarbe aufgetragen. In dieser Glaskugel befindet sich ein hölzerner Globus mit einem Durchmesser von rund 5 Zoll. Ein dünner Eisenring rund um den Globus zeigt die Schattengrenze, also die Tag-Nacht-Grenze der Erde an. Um den Äquator verläuft ein breiterer Ring, welcher für die Anzeige der Stunden dient. Diese sind in römischen Ziffern in Gelb und Schwarz aufgetragen, symbolisch für die Tages- und Nachtstunden. Die Ekliptik, also die schiefe Bahn der Sonne im Vergleich zu einem Fixstern, ist mit einem weiteren Ring dargestellt, welcher *„gegen den letztern um $23^{\circ} 27'$ geneigt, in Monate und Tage eingetheilt, alles nett im Schimmer der reinsten Versilberung“* [37] ist.

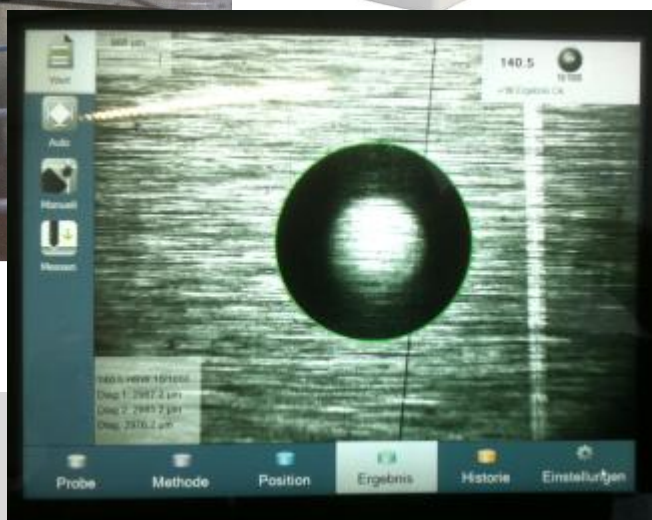
Sie dient gleichzeitig als Skala für den Tag, welche wieder in die 12 Monate unterteilt ist. Auf dem Ring für die Ekliptik ist ein kleines Metallgitter angebracht, welches die Sonne bzw. die Sonnenstrahlen symbolisiert. Weiters stellt das Chronoglobium *„Culminationszeit des Mondes und der vorzüglichsten Fixsterne“* und die Bewegung der Achse der Erde dar.

Windstärke-Messgerät

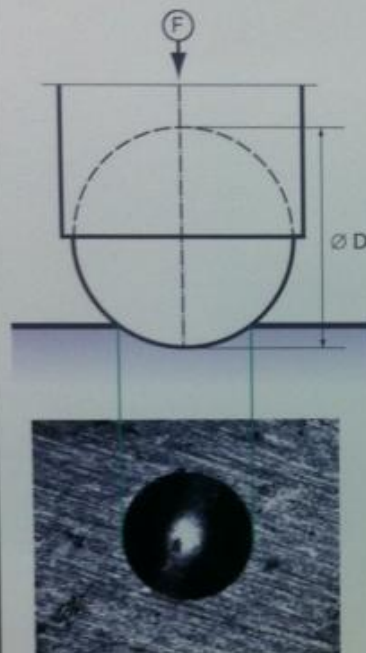
Schalenkreuz-Anemometer



Brinellhärte



Brinell EN ISO 6506



Brinellhärte HB

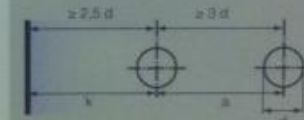
$HB = \text{Konstante} \frac{\text{Prüfkraft } F}{\text{Oberfläche des Eindrucks}}$

$$HB = 0,102 \frac{2 F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Mittlerer Eindruck Durchmesser

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Randkantenabstand und Abstand der Prüfpunkte zueinander



Werkstoff	Verfahren	Eindrückkörper Hartmetallkugel	Prüfkraft	Belastungsgrad	Härtebereich HBW
Stahlguss	HBW 1/30	1 mm	30 kp	30	95 - 653
Grauguss	HBW 2.5/187,5	2,5 mm	187,5 kp		
	HBW 5/750	5 mm	750 kp		
	HBW 10/3000	10 mm	3000 kp		
Nichteisenmetall	HBW 1/10	1 mm	10 kp	10	32 - 218
Kupfer/Alu	HBW 2.5/62,5	2,5 mm	62,5 kp		
Kupferlegierungen	HBW 5/250	5 mm	250 kp		
Alulegierungen	HBW 10/1000	10 mm	1000 kp		
Leichtmetall	HBW 1/5	1 mm	5 kp	5	16 - 110
Kupfer/Alu	HBW 2.5/31,25	2,5 mm	31,25 kp		
Kupferlegierungen	HBW 5/125	5 mm	125 kp		
Alulegierungen	HBW 10/500	10 mm	500 kp		
Leichtmetalle	HBW 1/2,5	1 mm	2,5 kp	2,5	8 - 35
kleiner 35 HB	HBW 2.5/15,63	2,5 mm	15,63 kp		
	HBW 5/62,5	5 mm	62,5 kp		
	HBW 10/250	10 mm	250 kp		

Ideale Kugel



Eine internationale Forscherallianz hat die eine fast perfekte Kugel geschaffen. Sie besteht aus hochreinem Silizium, hat einen Durchmesser von etwa zehn Zentimetern und eine maximale Rauheit von unter einem Nanometer (Millionstel Millimeter). Vergrößert auf die Erdkugel lägen die größten Unebenheiten dort unter 15 Zentimetern. Mit den zwei hergestellten Präzisionskugeln wollten die Wissenschaftler das sogenannte Urkilogramm neu definieren. Dies gelingt nur, wenn sowohl die Zusammensetzung als auch die Geometrie der Siliziumkugeln genau bekannt sind.

Frei zur Veröffentlichung nur mit dem Vermerk
Foto: Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Phys. Größe

Basiseinheit

definierende Naturkonstante

Zeit

Sekunde

$\Delta\nu(133\text{Cs})_{\text{hfs}}$ (Hyperfeinstrukturübergang)
Die Frequenz $\Delta\nu(133\text{Cs})_{\text{hfs}}$ des Hyperfeinstrukturübergangs des Grundzustands des Cäsiumatoms ist genau gleich 9 192 631 770 Hertz, Hz.

Eröffnung neuer SI- Raum
im Museum Echophysics
im Frühjahr 2026!

Meter

Stoffmenge

Mol

N_A (Avogadro-Konstante)
Die Avogadro-Konstante N_A ist genau $6,022\,141\,29 \cdot 10^{23}$ durch Mol, mol^{-1} .

Lichtstärke

Candela

K_{CD} (photometrisches Strahlungsäquivalent)
Das photometrische Strahlungsäquivalent K_{CD} einer monochromatischen Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hertz ist genau gleich 683 Lumen durch Watt, lm W^{-1} .



sung

Galilei - Thermometer



Als **Ballsportart** ist das Schießen als Ball auch für die Definition abhängig: Er Flugstabilisat versehen, ho



Als **Kugelspor** werden. Dabei man spricht c

tart, die mit einem Ball gespielt wird. Dabei kann
 e geeignete Gegenstand gelten. Seine Form spielt
 ediglich von der Eignung für das jeweilige Spiel
 reiben- oder ringförmig, mit Griffen oder
 eflochten, durchbrochen, mit beweglicher Füllung

ten, die mit (wenigstens) einer Kugel gespielt
geeignete andere Gegenstände ersetzt werden;
Kugelspiel oder -sport

Torspiele

Rückschlagspiele

Schlagballspiele

Spiele mit mehreren Bällen oder Kugeln

Kugelspiele im engeren Sinne

Einloch-Spiele (Loch- oder Hindernisspiele)

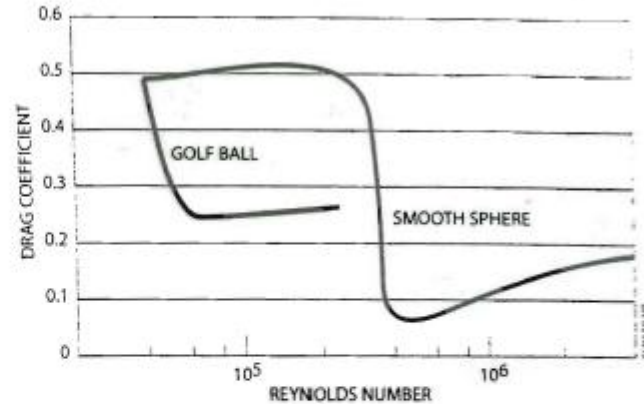
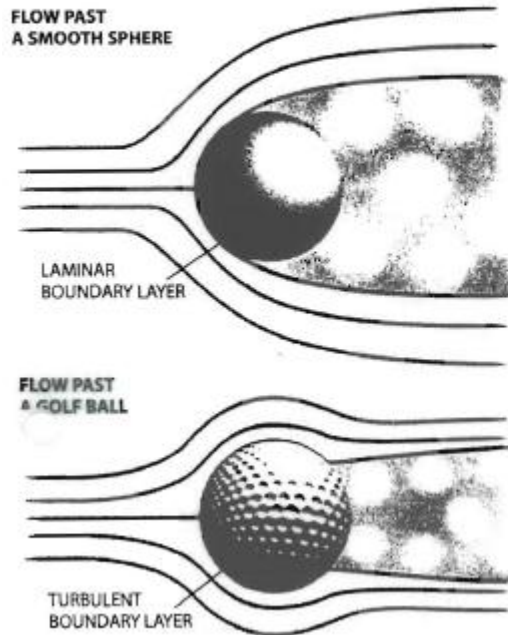
Kegelspiele

Billardspiele

Weitenwettbewerbe



Golfball - Flugweite



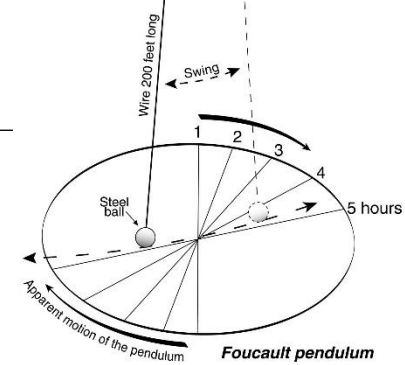
DRAG ON A GOLF BALL comes mainly from air-pressure forces. This drag arises when the pressure in front of the ball is significantly higher than that behind the ball. The only practical way of reducing this differential is to design the ball so that the main stream of air flowing by it is as close to the surface as possible. This situation is achieved by a golf ball's dimples, which augment the turbulence very close to the surface, bringing the high-speed airstream closer and increasing the pressure behind the ball. The effect is plotted in the chart, which shows that for Reynolds numbers achievable by hitting the ball with a club, the coefficient of drag is much lower for the dimpled ball.

Golfball - Die Oberfläche des Balls ist mit 300 bis 450 kleinen Dellen (sogenannten Dimples) versehen. Dadurch fliegt der Ball ca. 2,5 mal weiter als ohne Dellen.

Foucault - Pendel



4. Pollauer Vorlesung



Foucault hat ein fast 70 Meter langes Pendel im Pariser Pantheon schwingen lassen. Am unteren Ende der Pendelkugel zeichnete ein Dorn Spuren in ein Sandbett.

Nach einigen Minuten war zu erkennen, dass sich das Pendel zu drehen schien – es zeichnete immer neue Spuren in den Sand.

Tatsächlich aber hat sich nicht das Pendel gedreht, sondern das Sandbett – als Folge der Erddrehung. Denn ein Pendel, das einmal schwingt, behält seine Schwingungsebene stets bei.



Foucault-Pendel in Basilika Pöllau

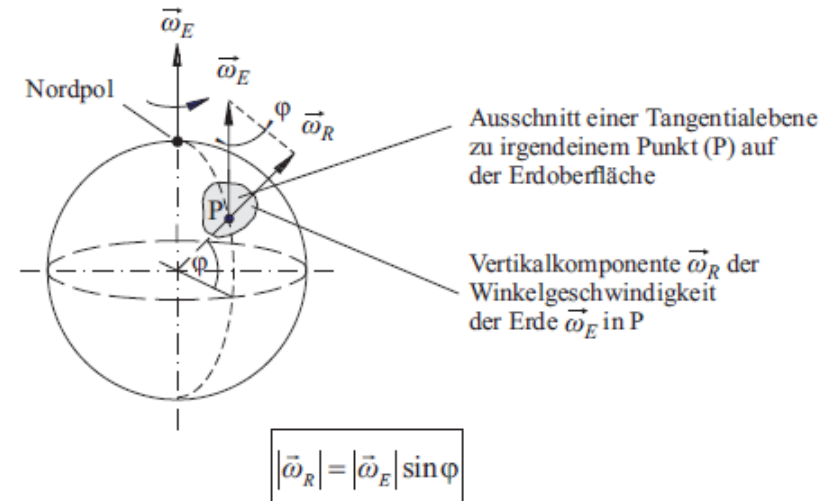


4. Pöllauer Vorlesung

FOUCAULT'sches Pendel

zum Nachweis der Erdrotation,
Pendellänge 12 Meter

gefertigt von der Werkstätte des
Instituts für Experimentalphysik
Technische Universität Graz



Für Graz ($\varphi = 47^\circ$) wird $\omega_R = \omega_E \cdot \sin 47^\circ = \omega_E \cdot 0,73 = 11^\circ / \text{Stunde} (\approx 0,2^\circ / \text{min}) = 263^\circ / \text{Tag}$.

$$\rightarrow \tau_{\text{Pendelebene}} = \frac{360^\circ}{263^\circ / \text{Tag}} = 1,37 \text{ Tage} / 1 \text{ d } 8 \text{ h } 48' 57''$$

Schwingungsdauer τ des Pendels:

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Mit einer Pendellänge von $l = 12,0 \text{ m}$ und der Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ergibt sich eine Schwingungsdauer von $6,95 \text{ s}$.

Becher fallen schneller als Kugeln?



Impulserhaltung



Somit lautet der Impulserhaltungssatz für den zentralen elastischen Stoß

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$$

und der Energieerhaltungssatz für den zentralen elastischen Stoß

$$\frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2^2 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1'^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2'^2$$

Dabei sind m_1 und m_2 die Massen der beiden Stoßpartner, v_1 und v_2 die Geschwindigkeiten der beiden Stoßpartner vor dem Stoß und v_1' und v_2' Geschwindigkeiten der beiden Stoßpartner nach dem Stoß.



Impulsübertragung durch Billardkugeln



Somit lautet der Impulserhaltungssatz für den zentralen elastischen Stoß

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$$

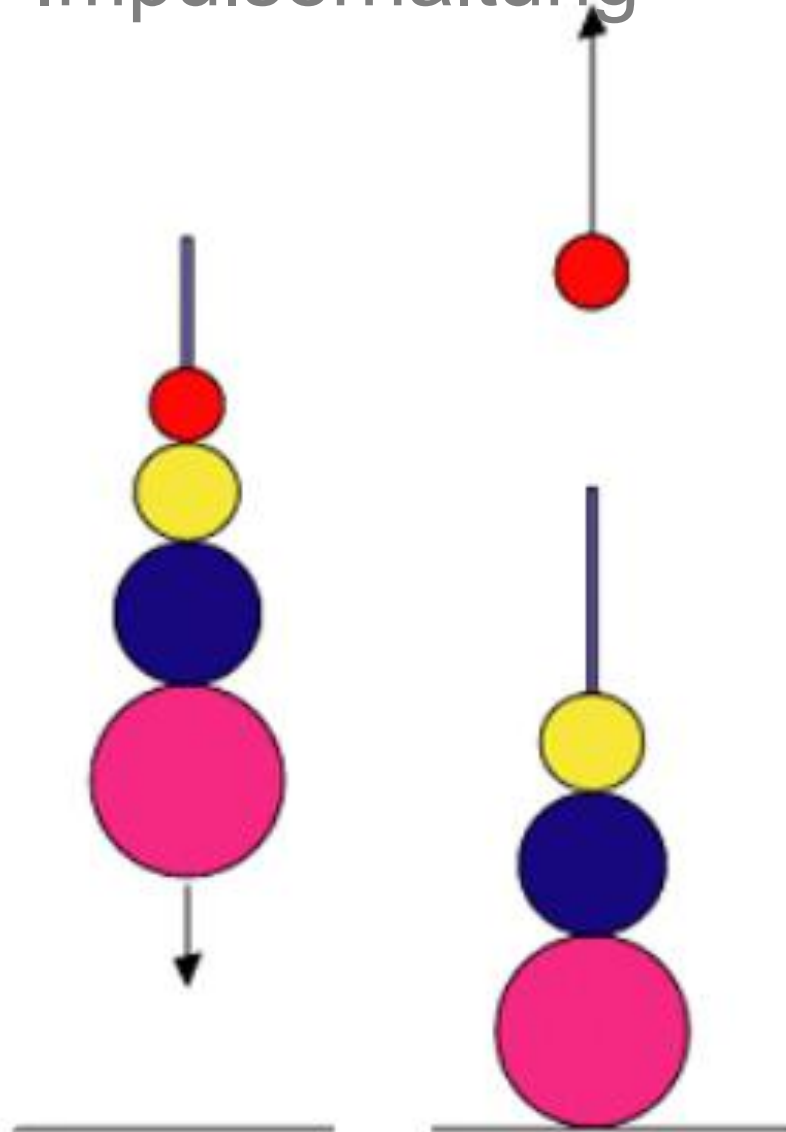
und der Energieerhaltungssatz für den zentralen elastischen Stoß

$$\frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2^2 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1'^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2'^2$$



Dabei sind m_1 und m_2 die Massen der beiden Stoßpartner, v_1 und v_2 die Geschwindigkeiten der beiden Stoßpartner vor dem Stoß und v_1' und v_2' die Geschwindigkeiten der beiden Stoßpartner nach dem Stoß.

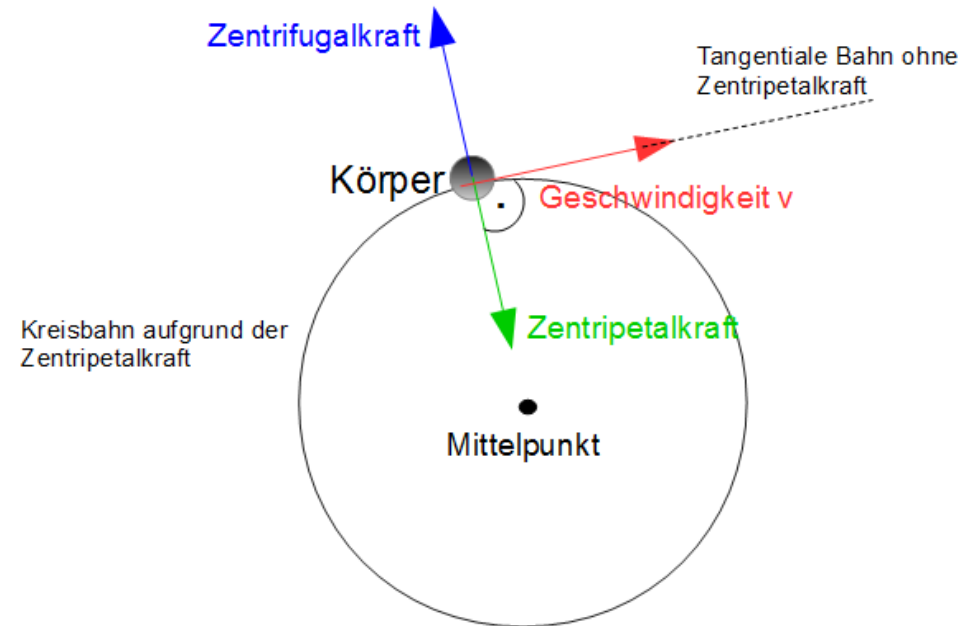
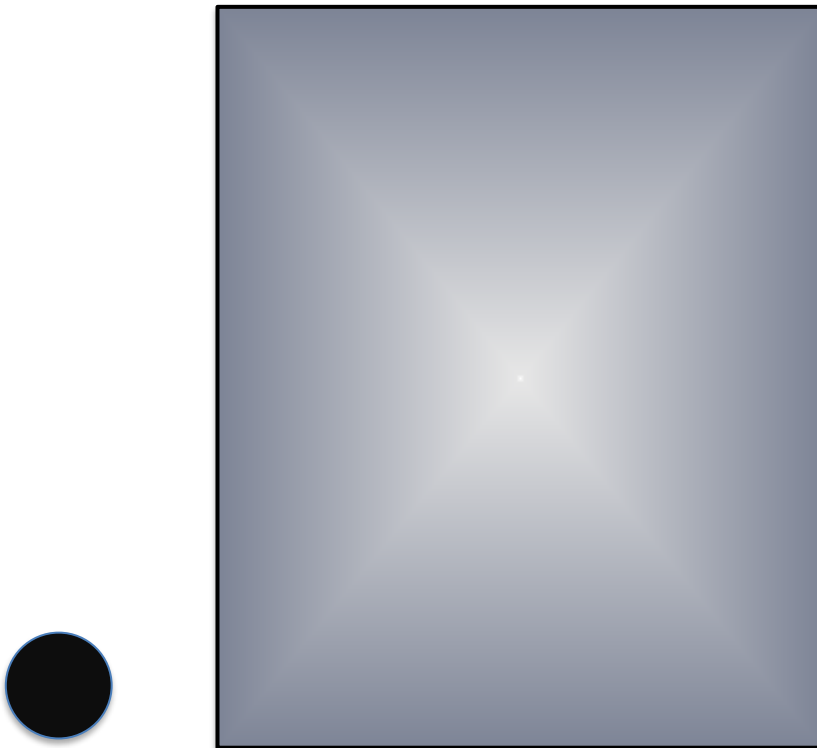
Impulserhaltung



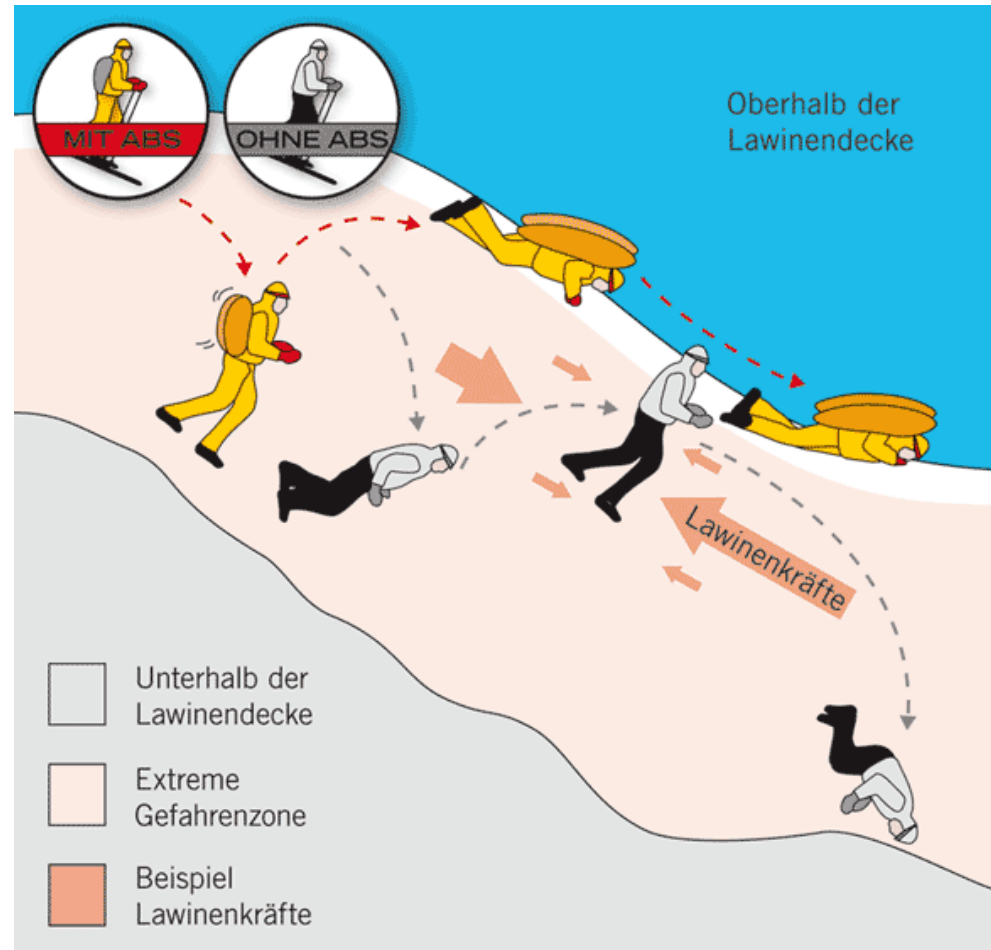
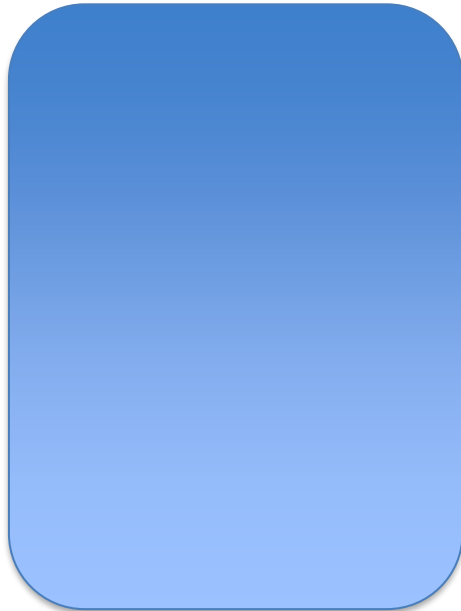
Drehimpulserhaltung



Zentrifugalkraft



TT-Ball im Reis - Lawinenairbag





Kugellager

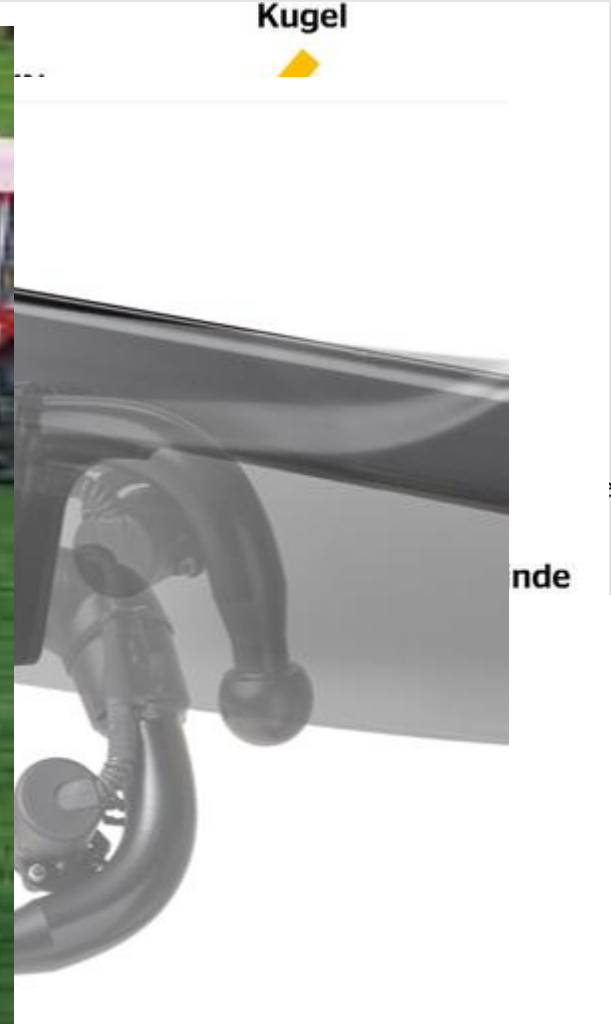


Kugeln – technische Anwendungen

SW14



Kugel



en

nde

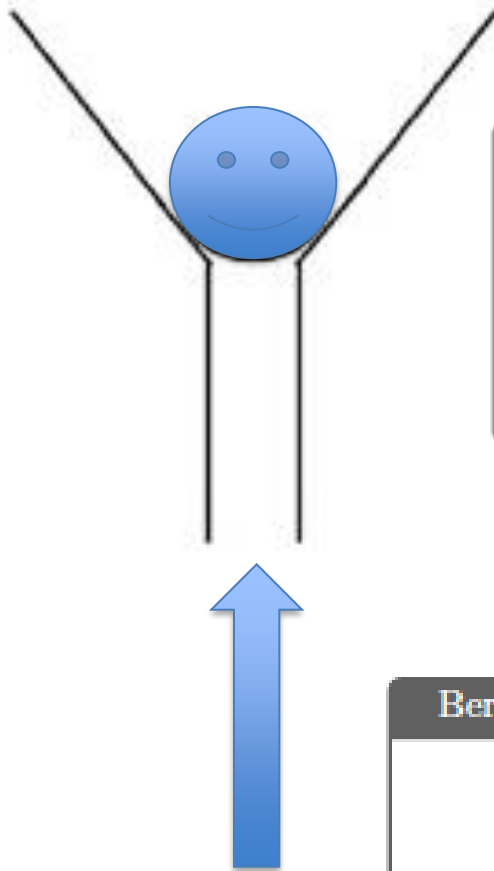
seite öffnen sie. Meist

durch eine Feder unterstützt werden sie durch eine Poppet oder durch eine Kugel verschlossen.

Bernoulli - Gleichung

$$\rho + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = \text{const} \quad \text{BERNOULLI-Gleichung für inkompressible Flüssigkeiten.}$$

$p + \rho gh$ statischer Druck, $\frac{\rho v^2}{2}$ dynamischer Druck oder Staudruck.



Navier Stokes equation for Newtonian fluids

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} - \vec{v} \times \text{curl} \right) \vec{v} + \text{grad} \frac{v^2}{2} + \frac{1}{\rho} \text{grad} p + \frac{\mu}{\rho} \text{curl curl} \vec{v} - \frac{2\mu + \lambda}{\rho} \text{grad div} \vec{v} = \vec{P}$$

We can simplify:

Irrotational flow	$\text{curl} \vec{v} = 0$
Steady flow	$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = 0$
Inviscid (no viscosity)	$\mu = \lambda = 0$
Incompressible(*)	$\text{div} \vec{v} = 0$

Bernoulli Equation

$$\text{grad} \frac{v^2}{2} + \frac{1}{\rho} \text{grad} p = \vec{P}$$

Bernoulli - Gleichung

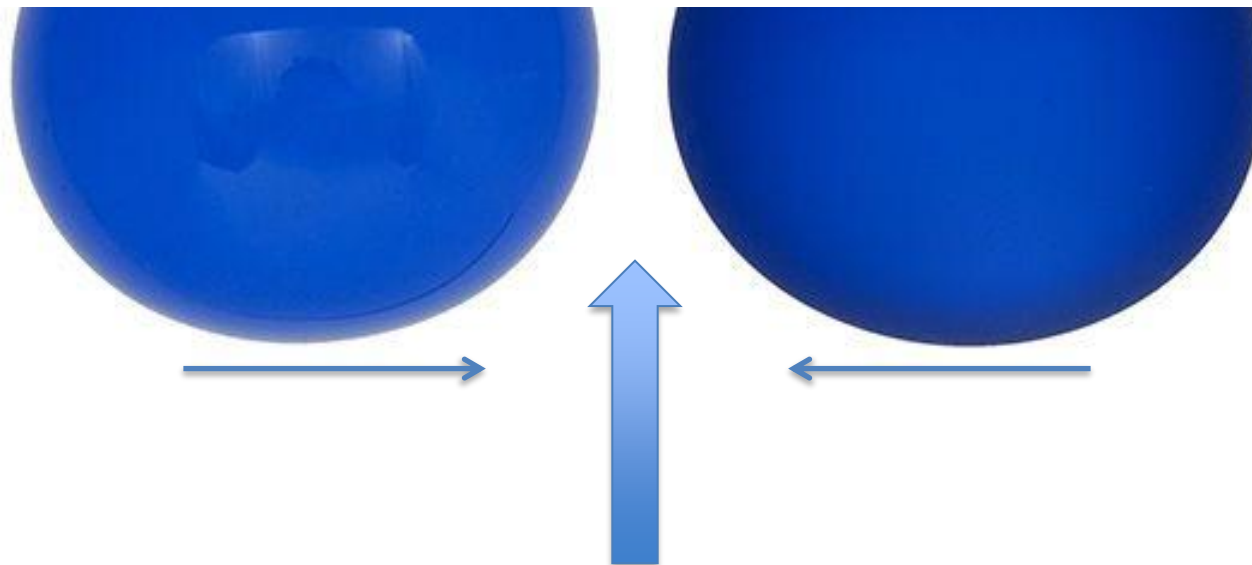
Die **BERNOULLI-Gleichung** lässt sich auch schreiben in der Form

$$p_{stat} + p_{dyn} = p_{ges} = const$$

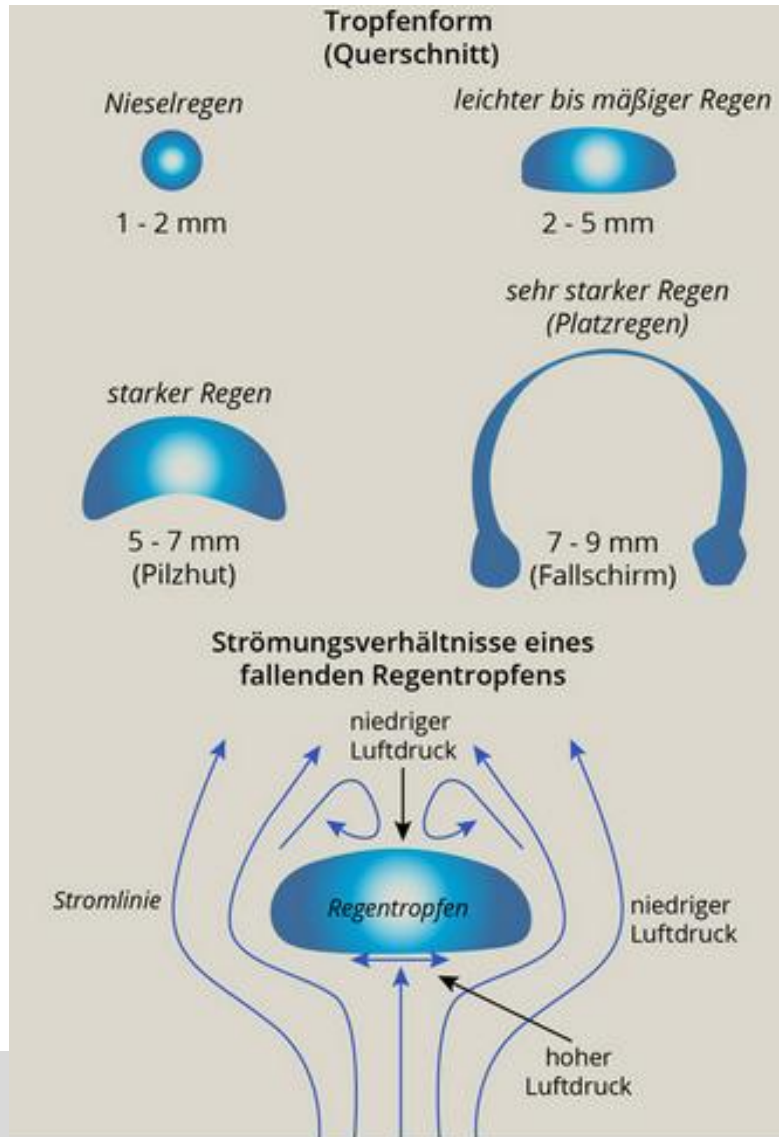
$p + \rho gh$ statischer Druck,

$\frac{\rho v^2}{2}$ dynamischer Druck oder Staudruck.

Daraus folgt: Große Geschwindigkeit - - kleiner statischer Druck!!



Regentropfen fallen / Dropper



Die Fallgeschwindigkeit eines Tropfens hängt von der Grösse der Tropfen ab. Kleine Tropfen fallen langsam, grosse Tropfen fallen schnell. Es gibt eine Faustregel zur Berechnung der Fallgeschwindigkeit: Die Fallgeschwindigkeit in Metern pro Sekunde (m/s) entspricht dem doppelten Tropfendurchmesser in Millimetern. Bei einem Wolkenbruch prasseln 4 Millimeter grosse Tropfen mit einer Geschwindigkeit von 8 m/s (= 29 km/h) auf die Erde. Die meisten Tropfen sind allerdings deutlich langsamer: Die grossen Regentropfen eines Gewitterplatzregens haben einen Durchmesser von 3 bis 5 mm, normalen Tropfen eines Landregens mit einem Durchmesser von 1 mm zeigen eine Fallgeschwindigkeit von etwa 2 m/s – durchschnittlich sind es 1 bis 6 m/s.

Th

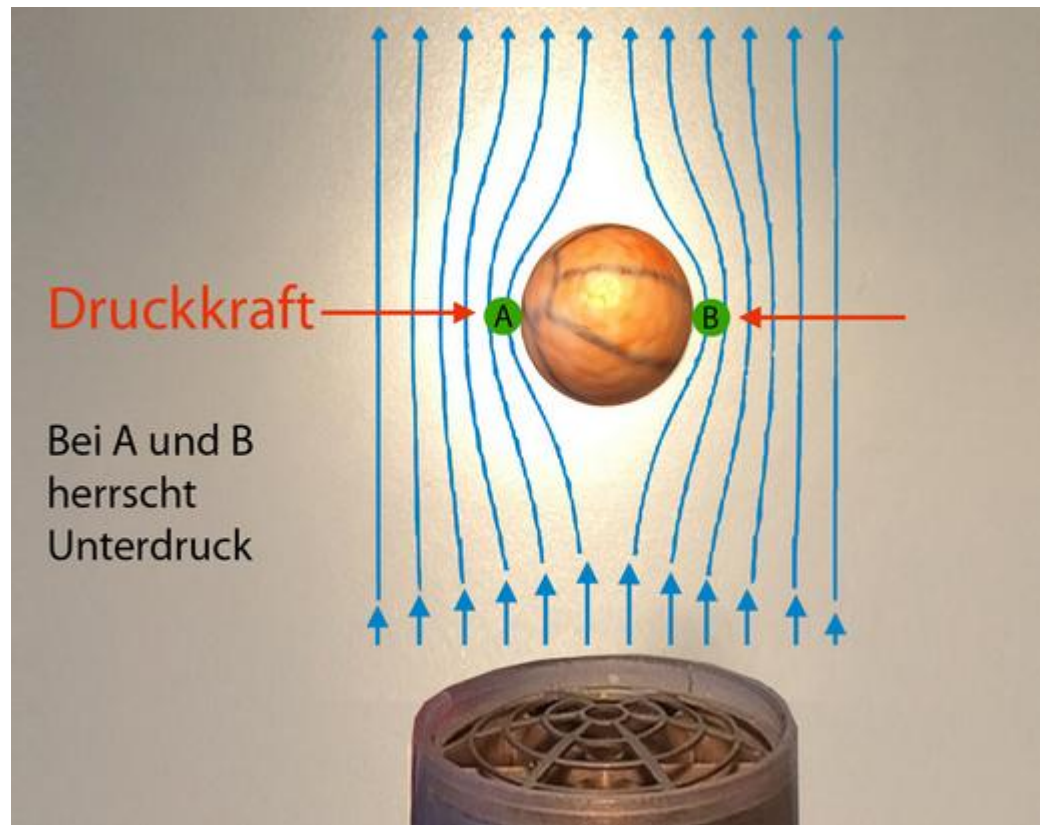


INSTITUT FÜR
EXPERIMENTALPHYSIK

HYDRO-AERO STATIK/DYNAMIK



Ball im Luftstrom



Magdeburger Halbkugeln

Otto von Guericke –
Magdeburger
Halbkugeln





Magdeburger Halbkugeln

Magdeburger Halbkugeln



Magdeburger Halbkugeln

$$\bar{F} = (p_A - p_i) \cdot A \approx p_A \cdot A$$

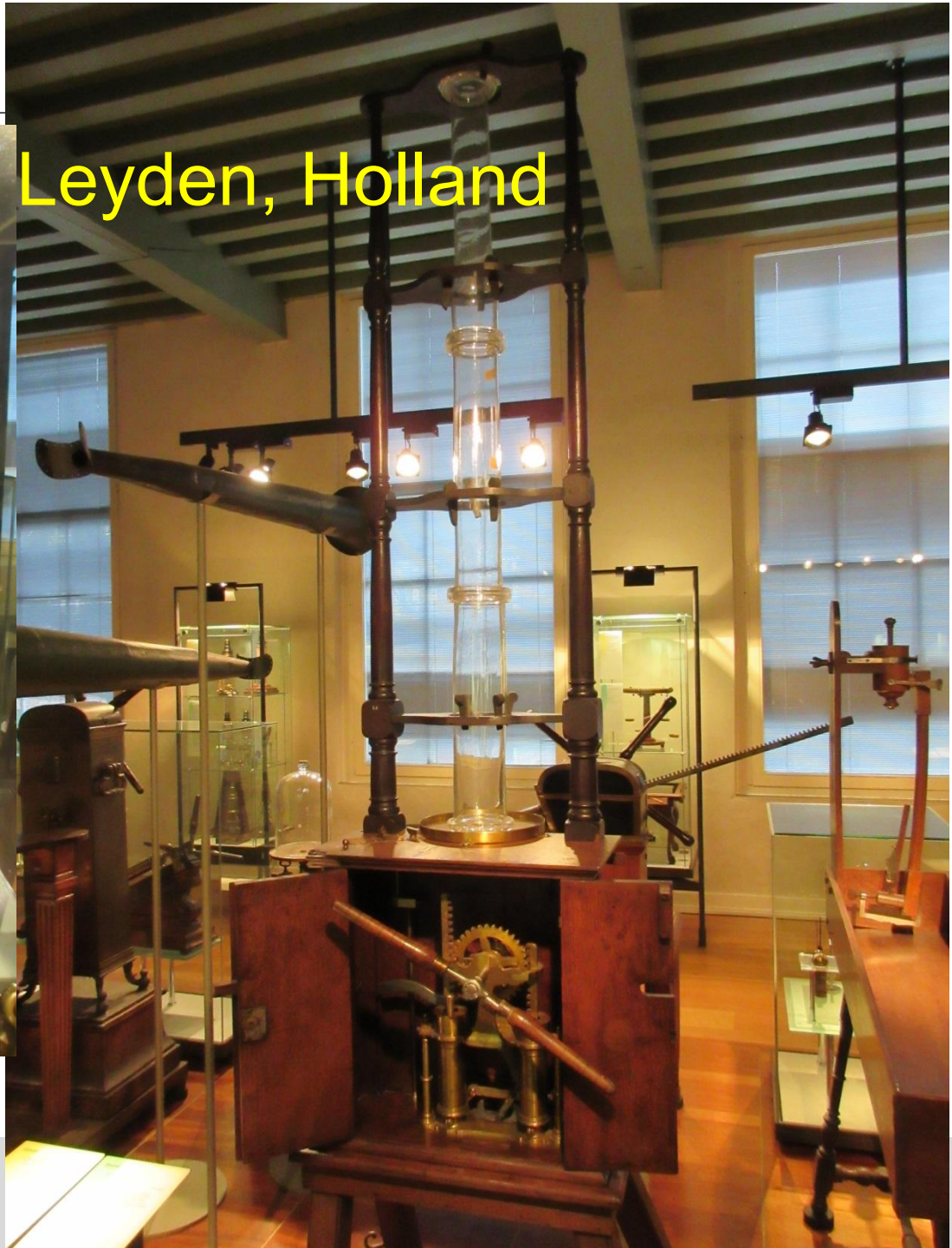
$$A = 0,00833 \text{ m}^2$$

$$p_A \approx 10^5 \text{ Pa}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{F \approx 833 \text{ N}}}$$



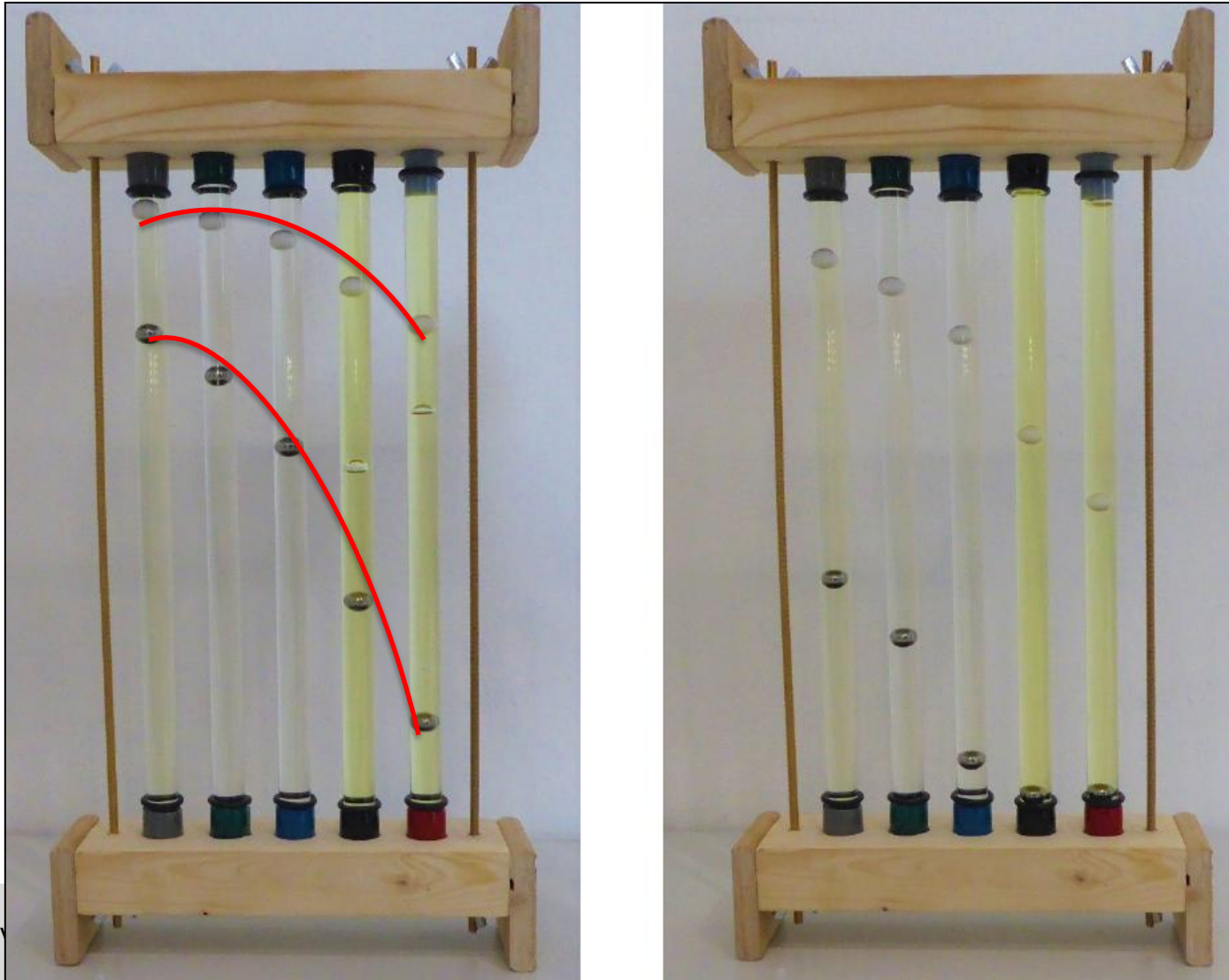
Museum in Leyden, Holland



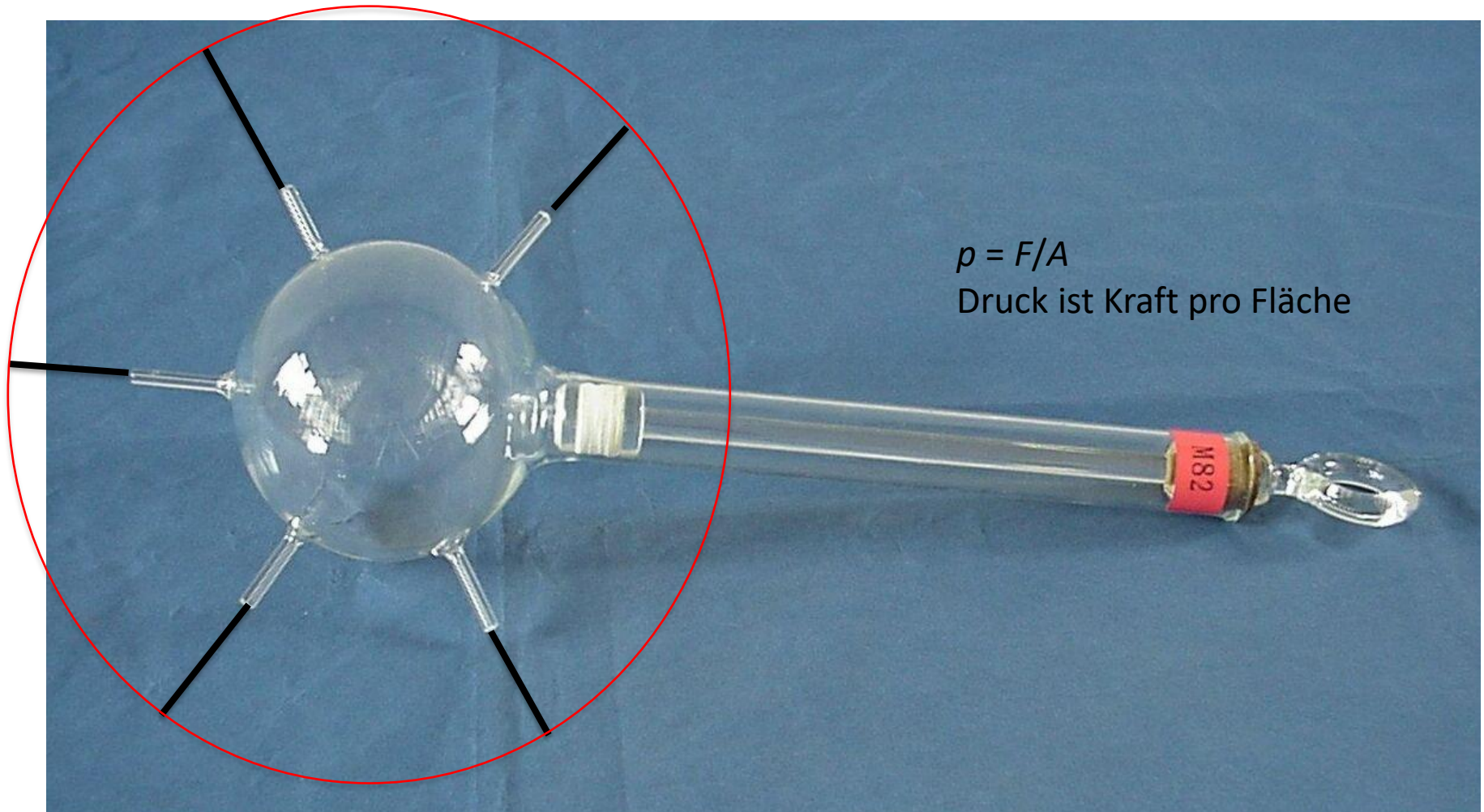
Durchflussmesser



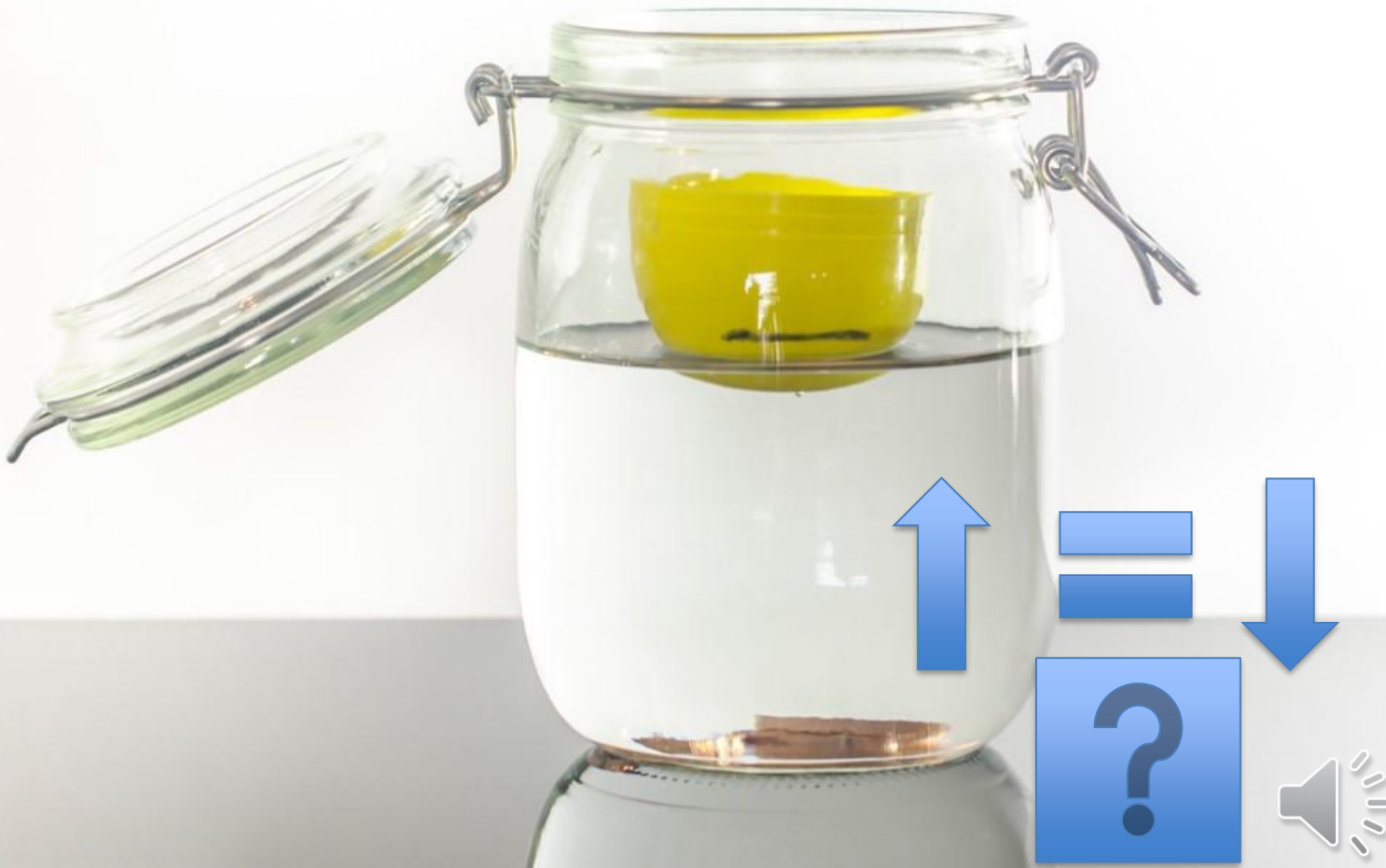
Zähigkeit von Flüssigkeiten

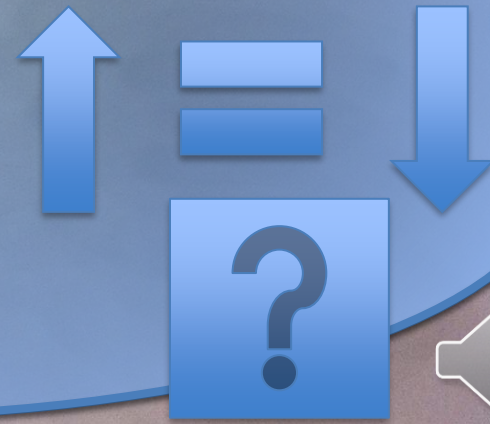
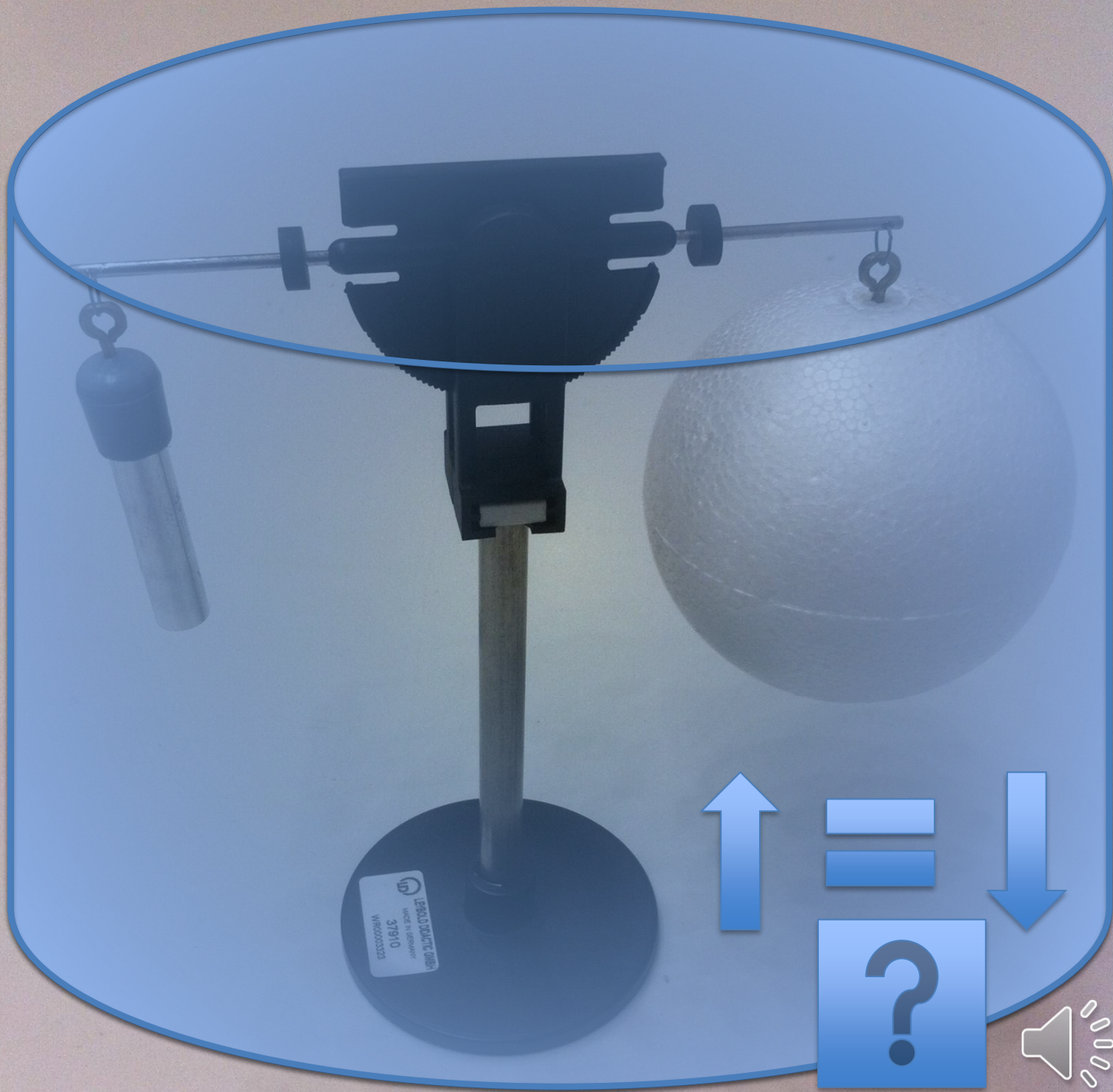


Allseitigkeit des Drucks - Kolbendruck



Auftrieb in Wasser

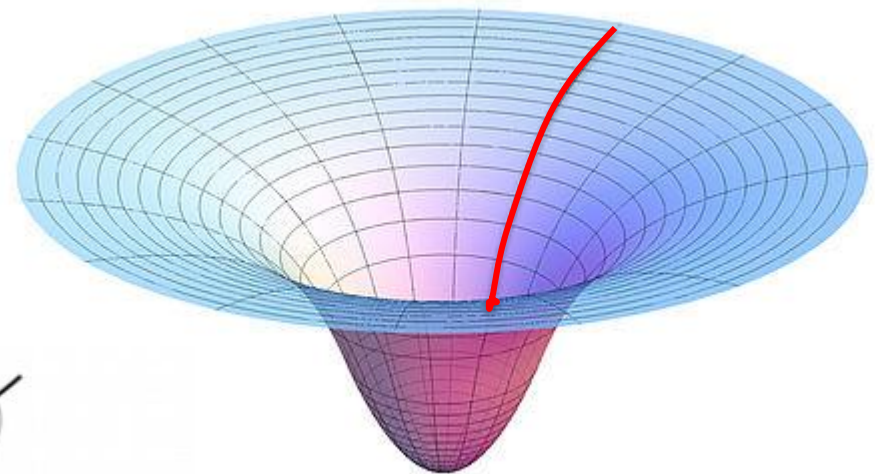
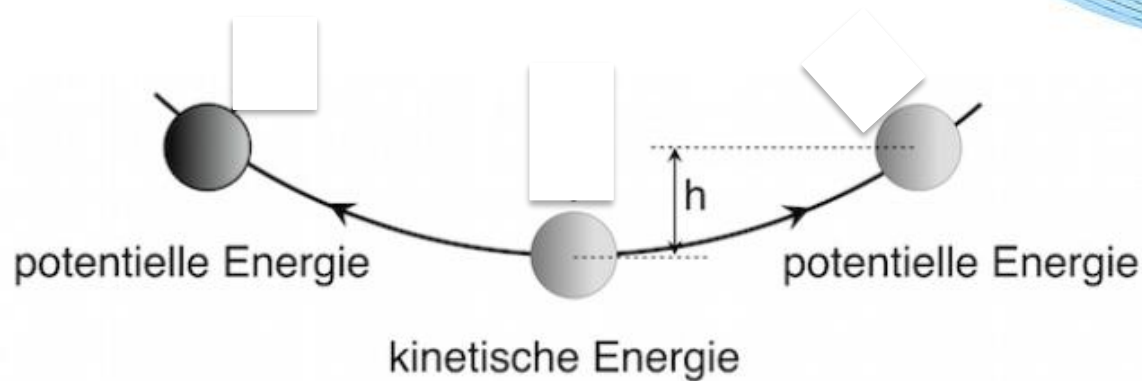




Energieerhaltung, Potentialtopf, Gradient

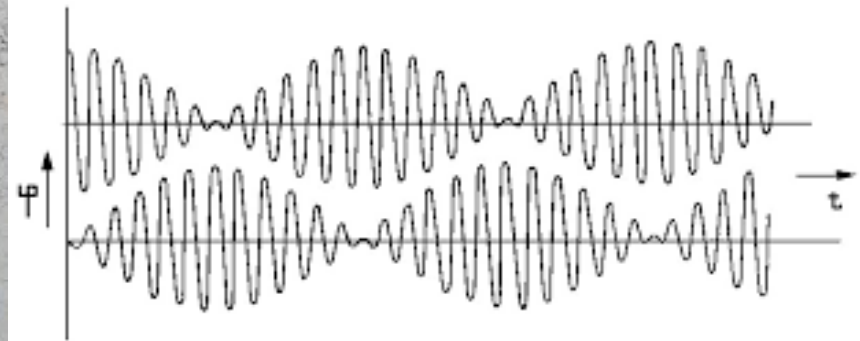
$$E_{pot1} + E_{kin1} = E_{pot2} + E_{kin2}$$

$$mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2$$

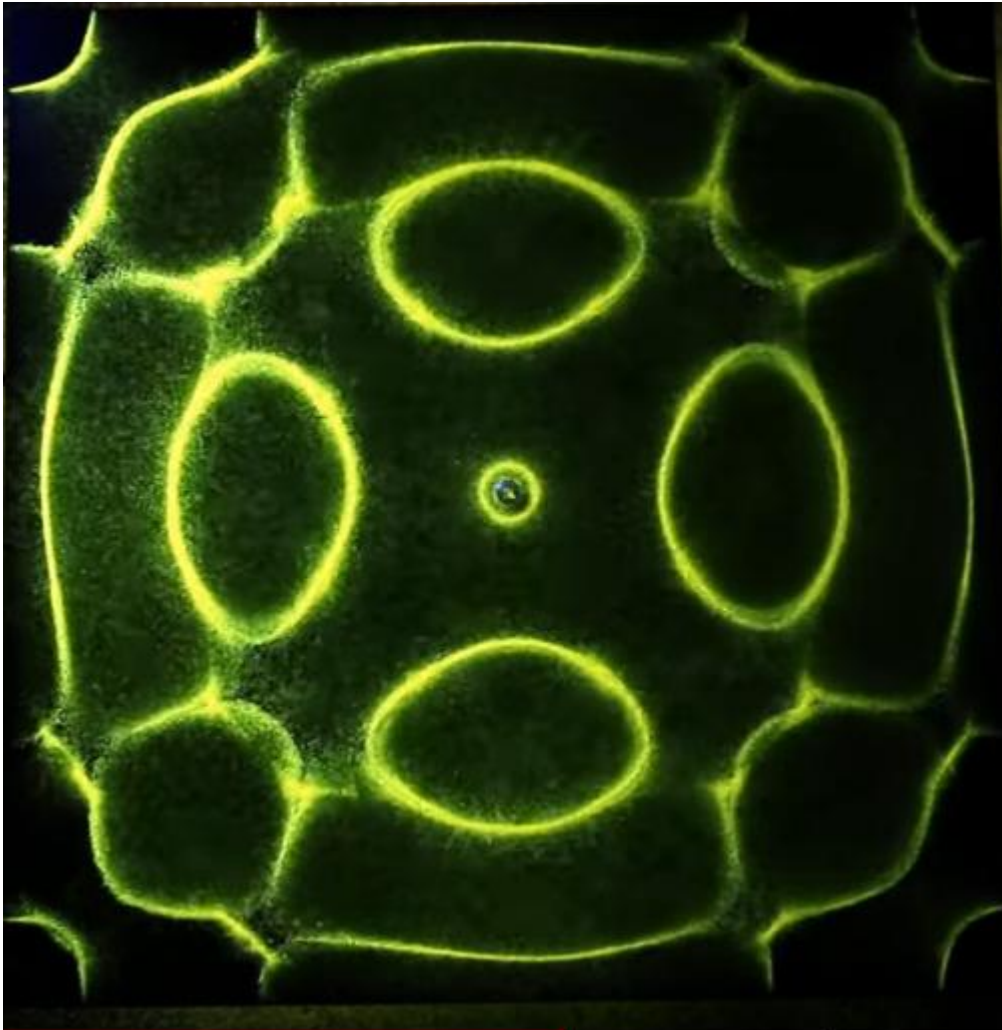


$$\text{grad}(f) = \frac{\partial f}{\partial x_1} \hat{e}_1 + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} \hat{e}_n = \begin{pmatrix} \frac{\partial f}{\partial x_1} \\ \vdots \\ \frac{\partial f}{\partial x_n} \end{pmatrix}.$$

Gekoppelte Schwingungen



Chladnische Klangfiguren



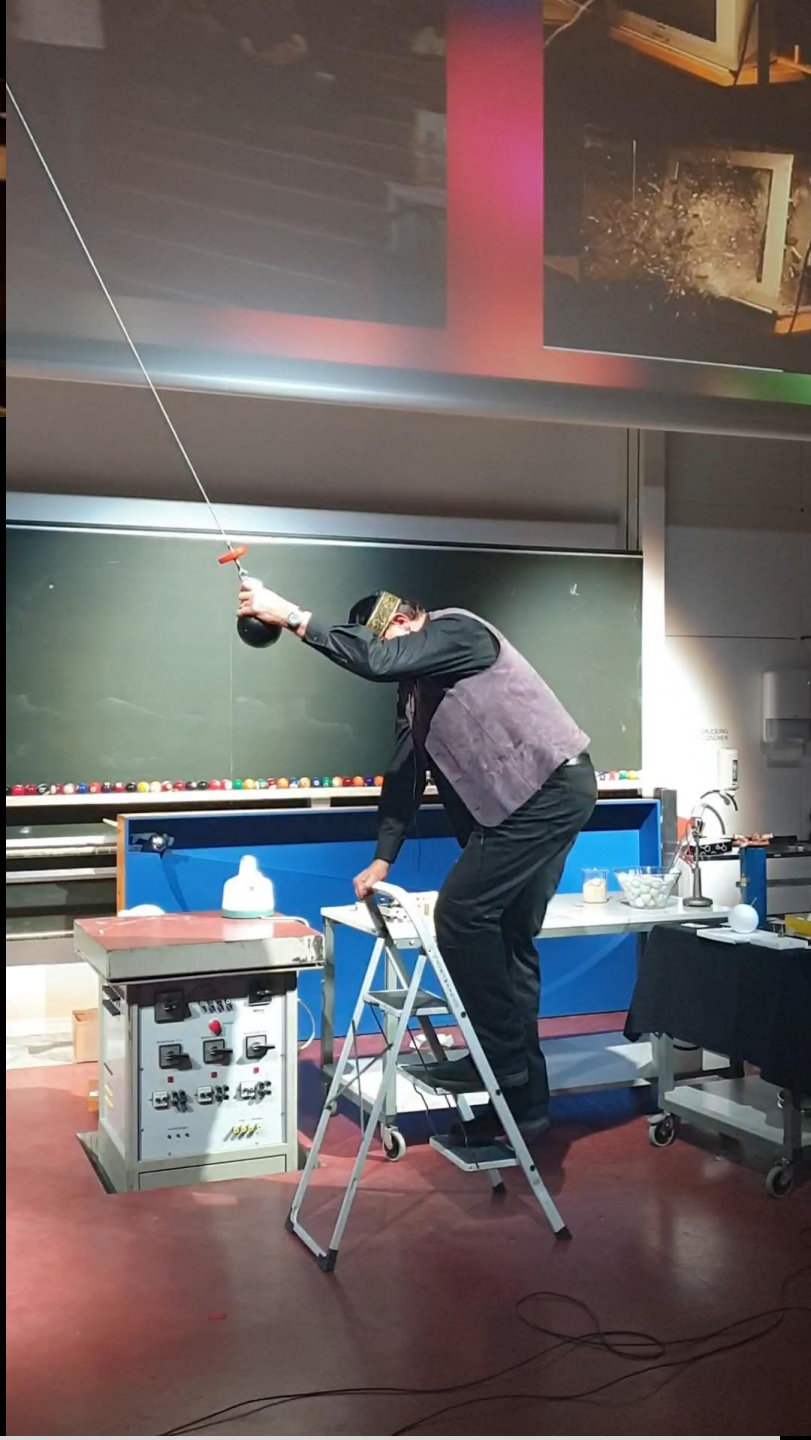
Sand = viele kleine Kugeln! 😊

Pickende Hühner

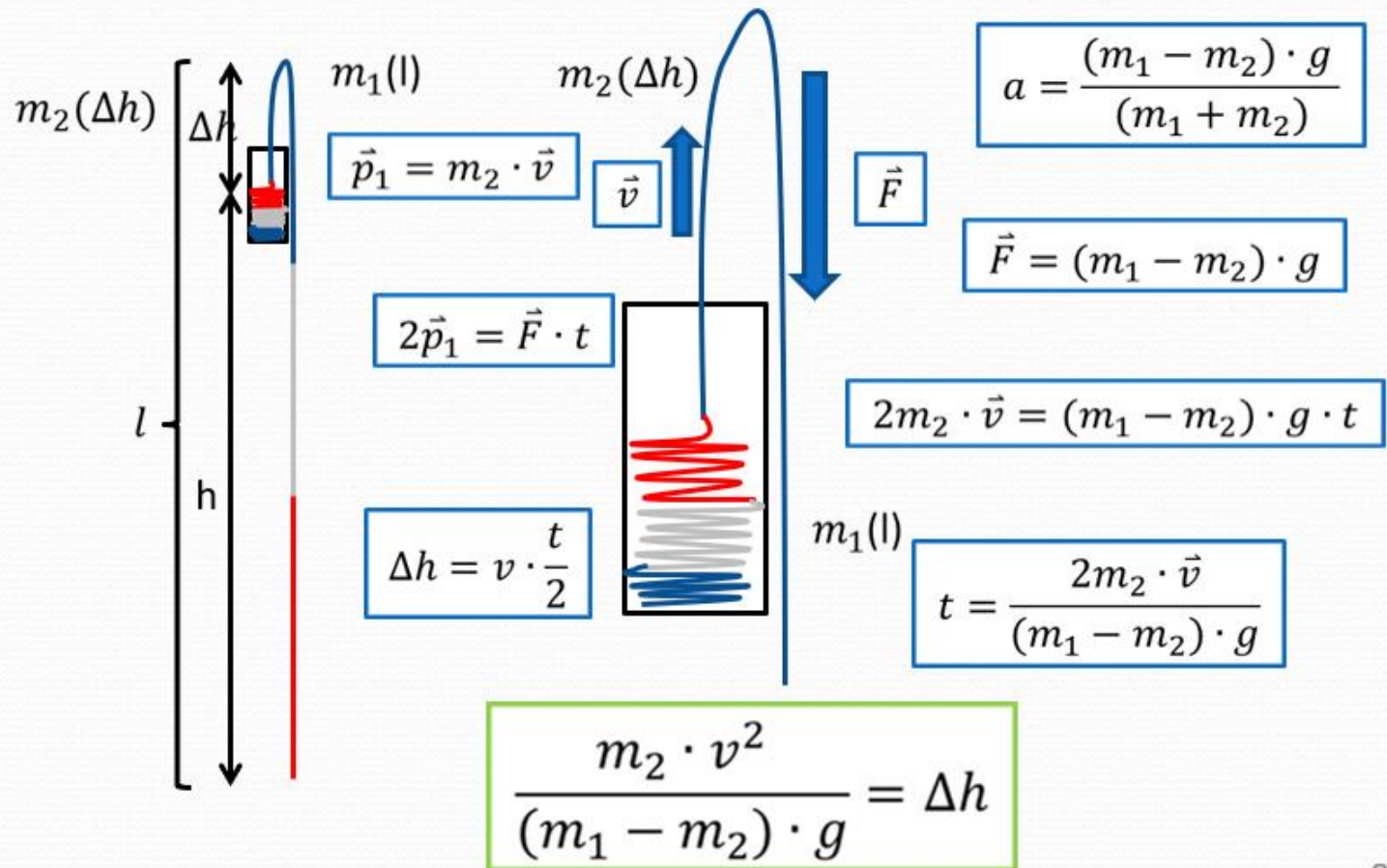




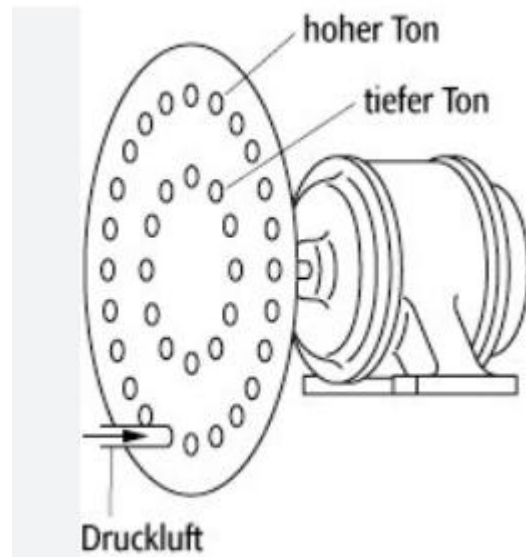
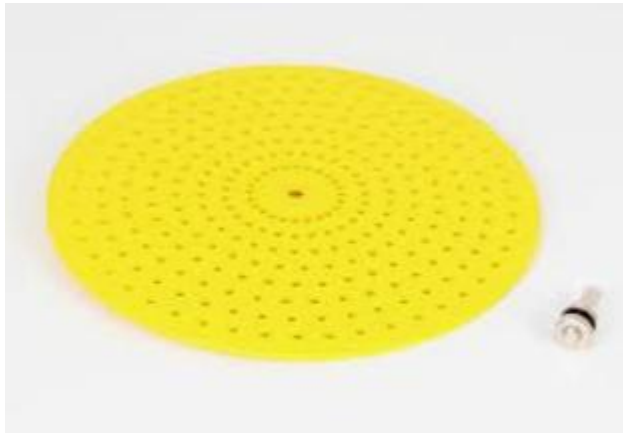
n Fernseher



Kugelkette



Sirene nach Helmholtz



Doppelsirene nach Helmholtz im Museum!

Helmholtz - Resonatoren

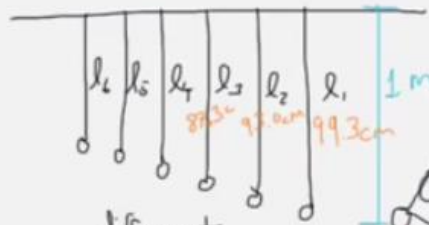


Pendulum wave

How to make a pendulum wave

simple pendulum

$f = \frac{1}{T}$
 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \Rightarrow f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l}}$
 $g = 9.8 \frac{m}{s^2}$



different frequencies
 $f_1 < f_2 < f_3 < f_4 < f_5 < f_6$

max length

$l = 1m$

$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{9.8 \frac{m}{s^2}}{1m}}$
 $= 0.4982 Hz$

Choose a time for the pendulums to coincide.

$1min = 60sec$

only a whole number of oscillations gets the bob back here



ex: ~~20.5~~ oscillations puts the bob here

here

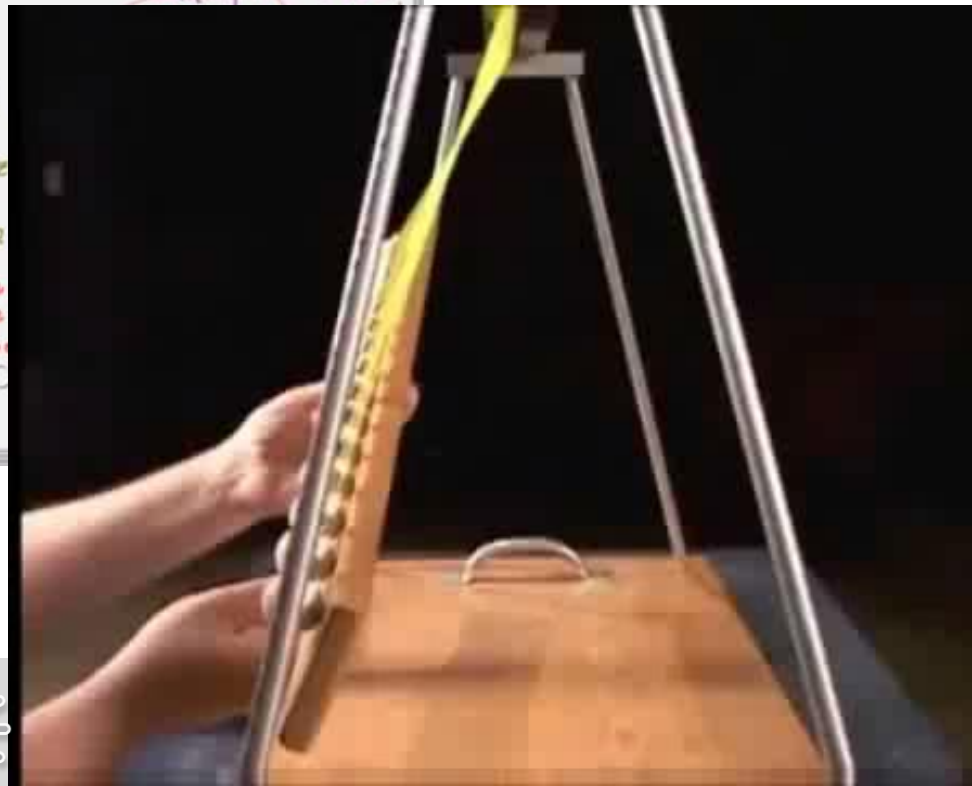
bad choice

whole number

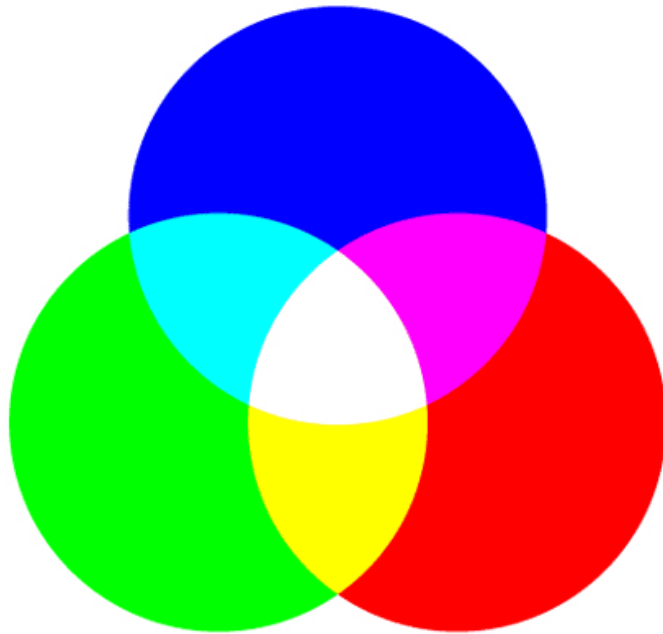
$\frac{n \text{ osc}}{60 \text{ sec}} = 0.4982$

$n = 29.89 \text{ osc}$ not a whole number

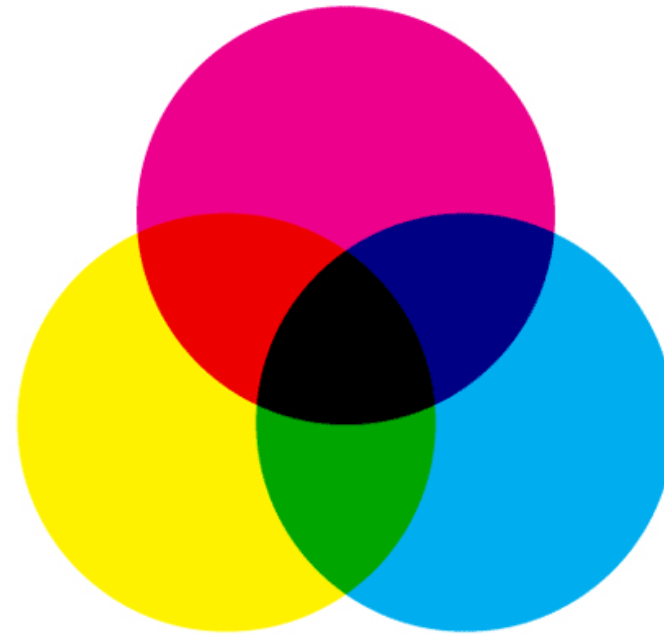
$\frac{30 \text{ osc}}{60 \text{ sec}} = 0.5$ created



RGB - Kugel



RGB



CMYK



Eine Möglichkeit der Anwendung
von einer Ulbrichtkugel

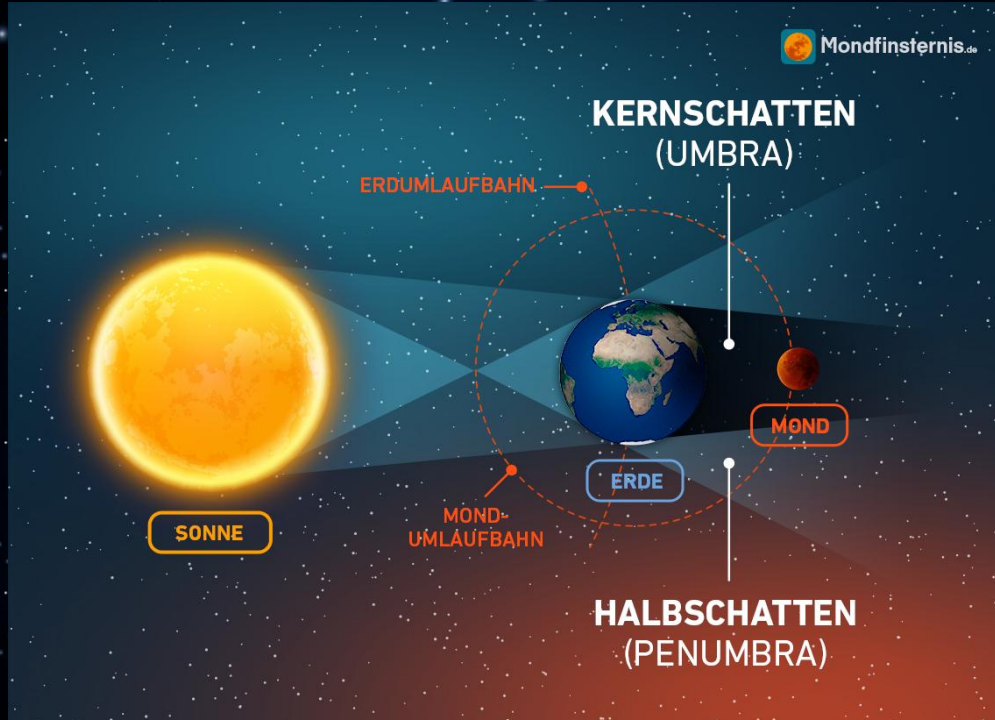
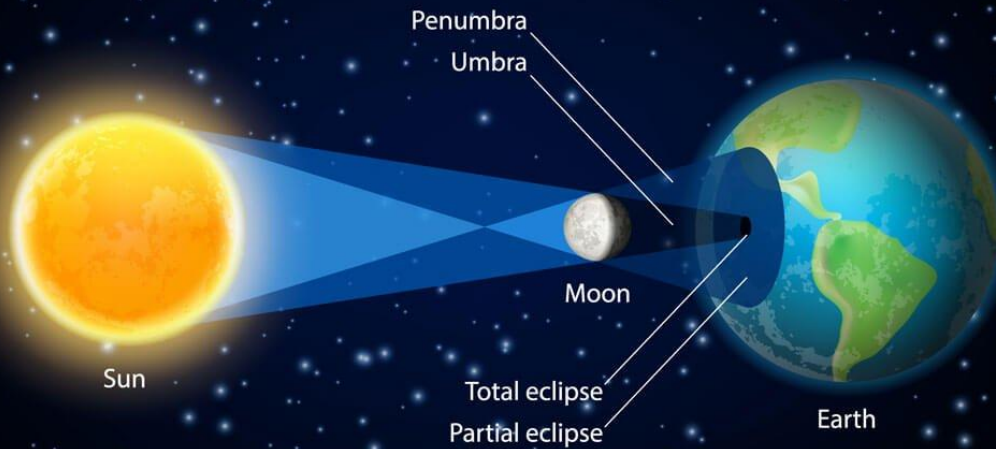


Besichtigen sie einen Nachbau
des Mechanismus von Antikithera
im Museum echophysics!



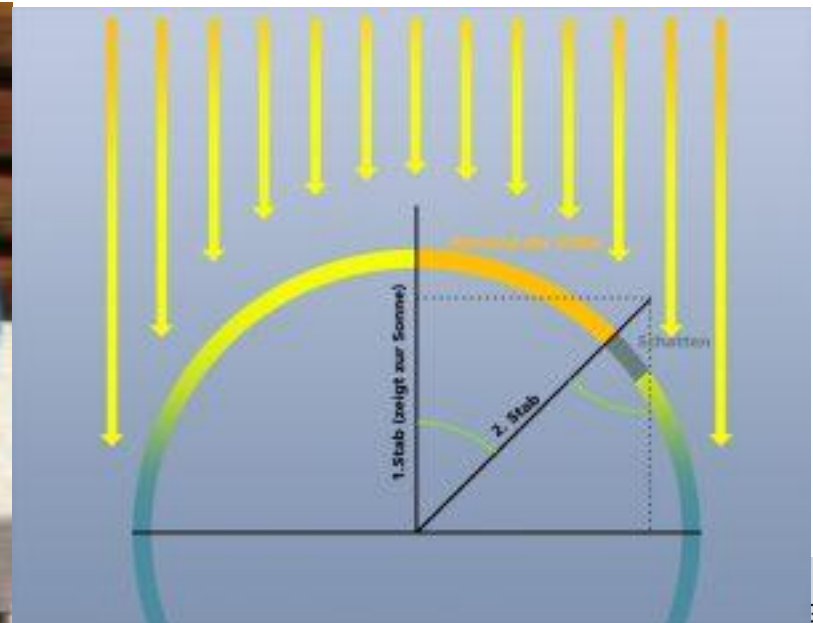
Solar Eclipse

Es existieren etwa 40 Saroszyklen zur gleichen Zeit

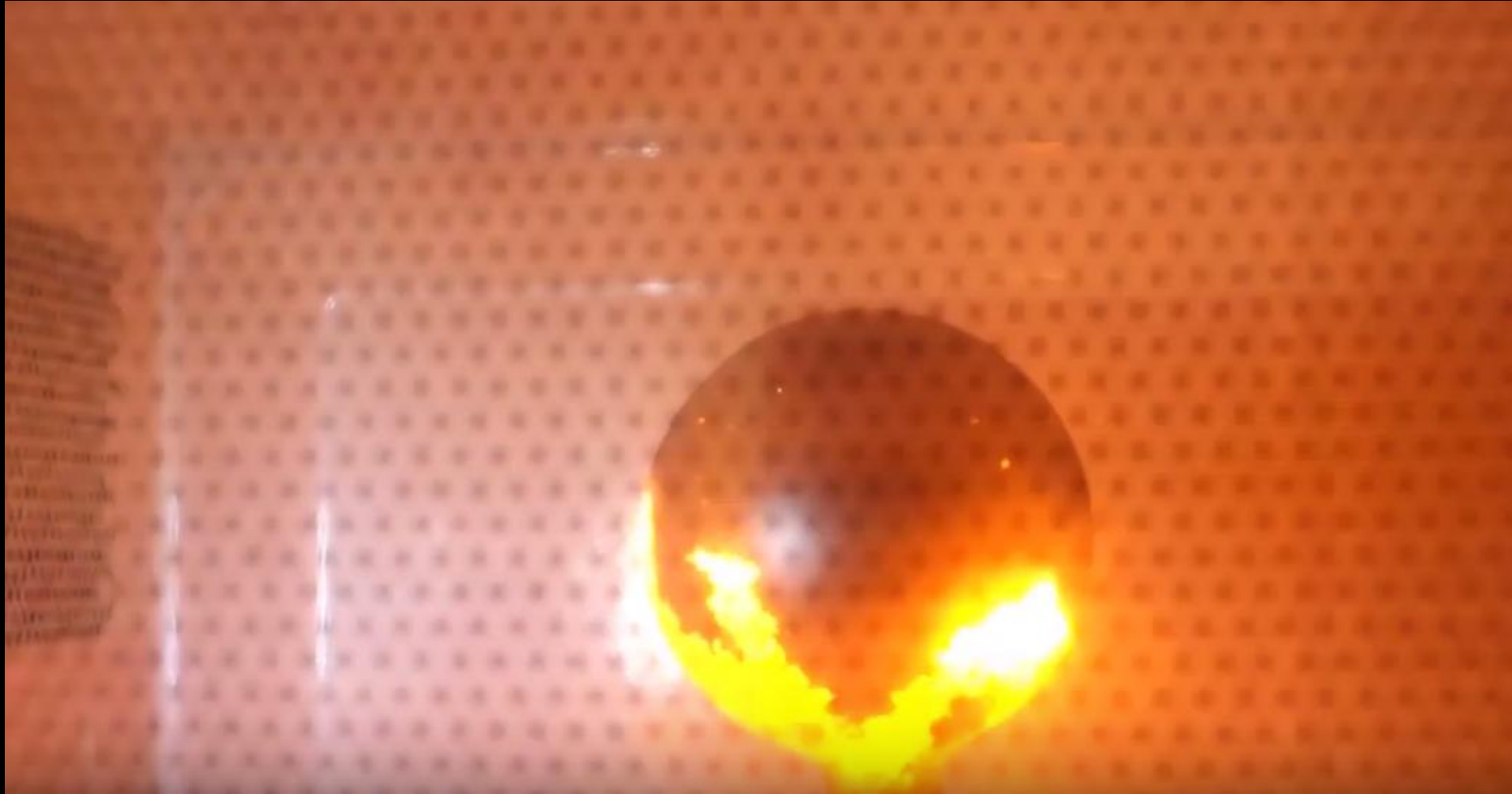


Erde flach oder Kugel?

Der griechische Gelehrte **Eratosthenes** bewies vor mehr als 2000 Jahren mit einem legendären Experiment, dass die Erde eine Kugel sein muss. Ihm war aufgefallen, dass die Sonne im Süden Ägyptens (in Assuan) zur Sommersonnenwende am 21. Juni mittags keinen Schatten warf. Weiter im Norden des Landes (in Alexandria) warf ein großer Obelisk aber zur gleichen Zeit sehr wohl einen (wenn auch nur kurzen) Schatten. Daraus folgerte er, dass die Erdoberfläche gekrümmt sein müsse – und aus der Schattenlänge und der Entfernung der beiden Orte berechnete er bereits den ungefähren Umfang der Erde.



Christbaumkugeln in Mikrowelle

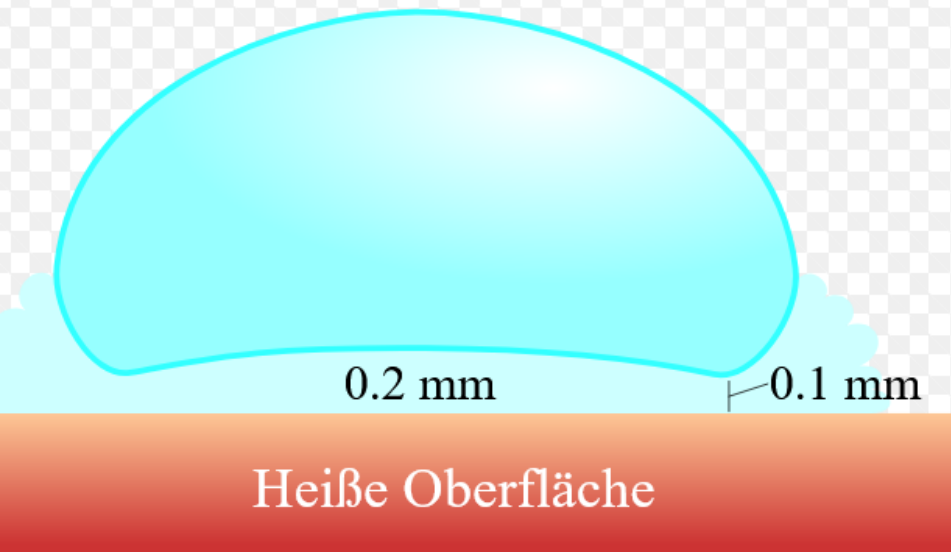


Thermische Expansion und Temperaturverteilung

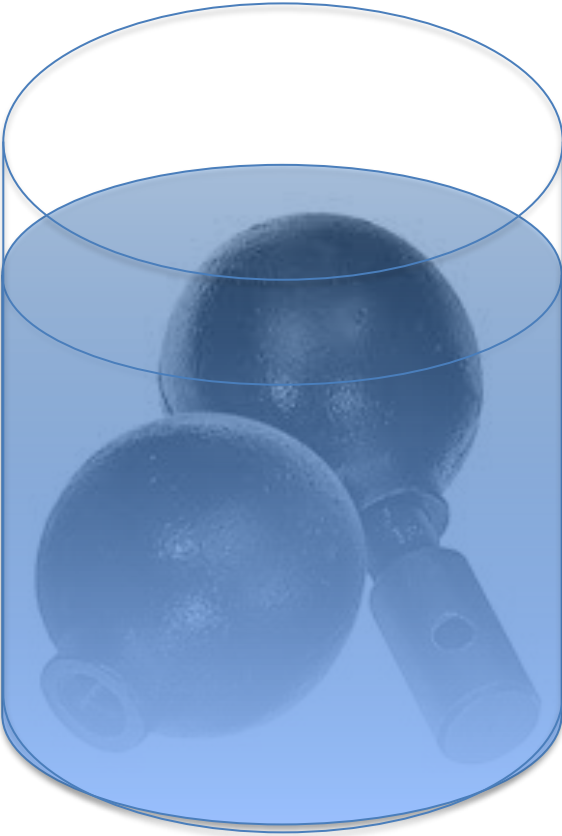


Leidenfrost-Effekt

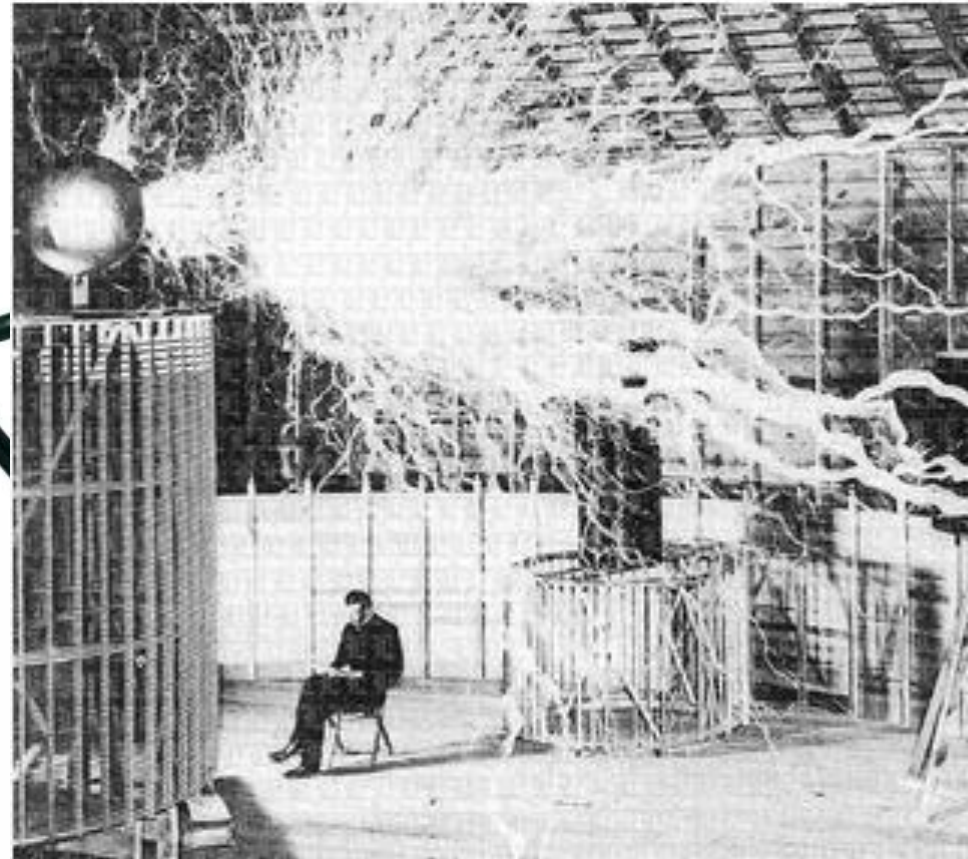
Ein Tropfen Flüssigkeit
schwebt auf seiner Dampfschicht



Sprengkugel in flüssigem Stickstoff



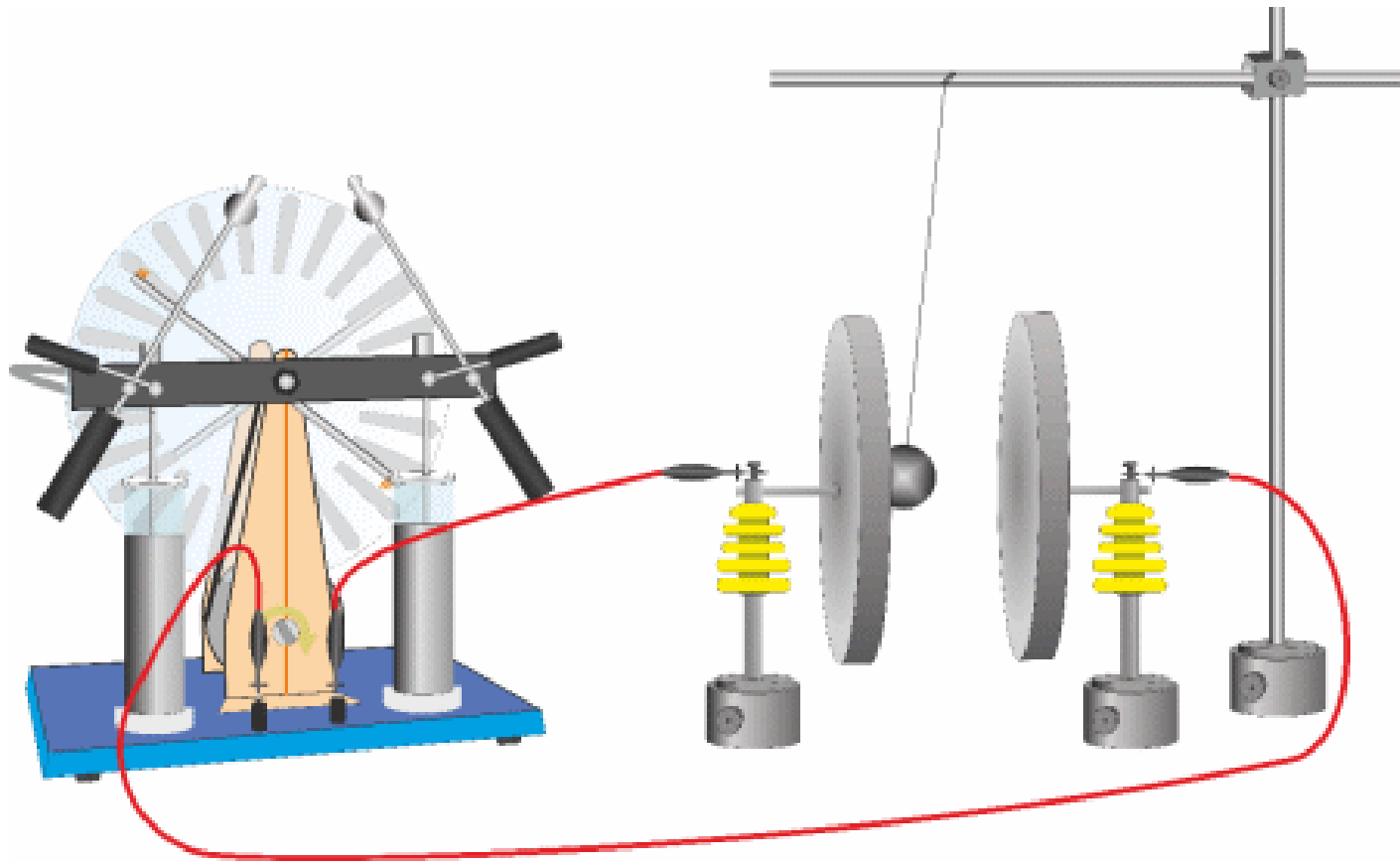
Funken

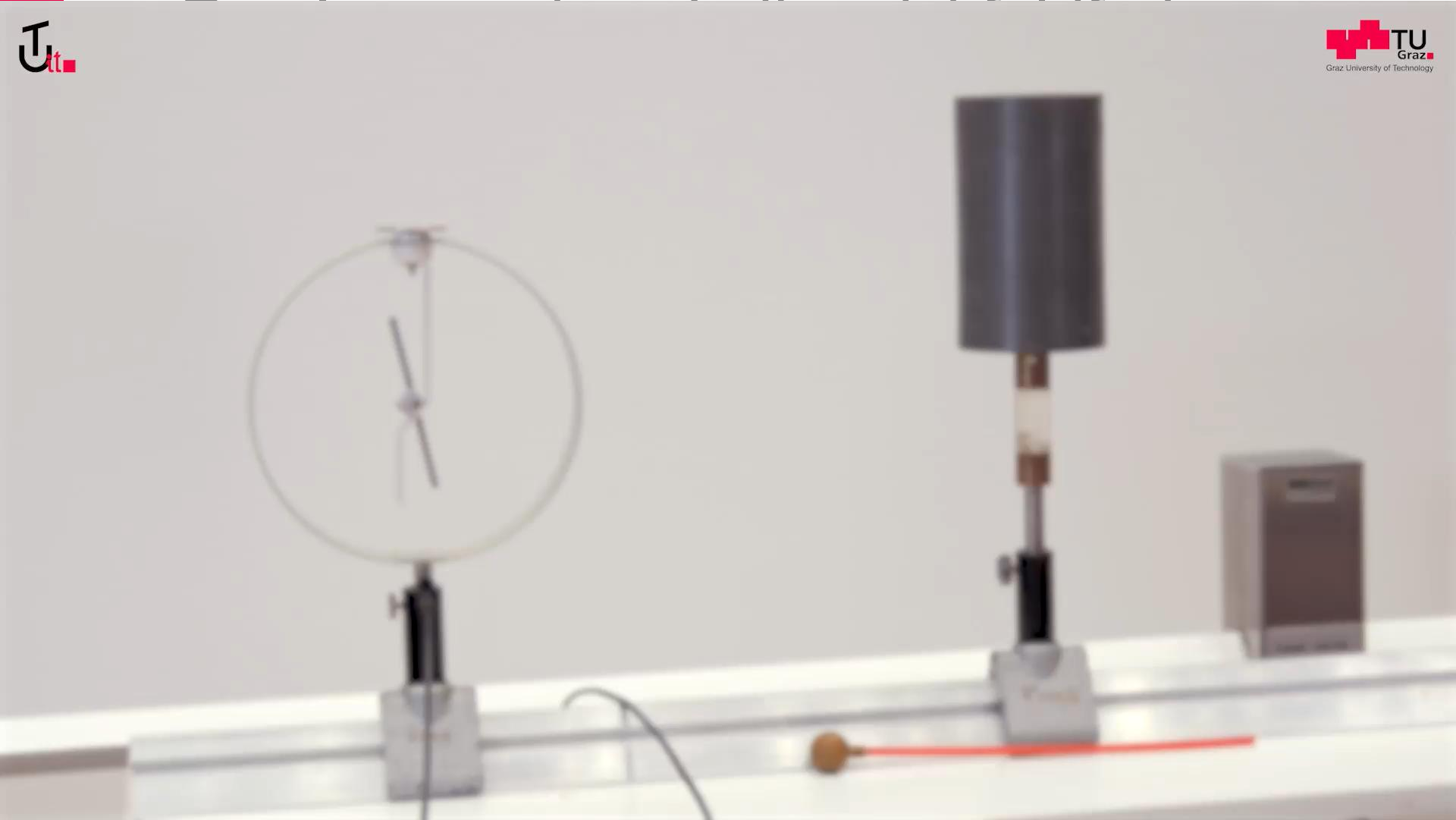


Kugeltanz



Kugeltanz II





Stirlingmotor



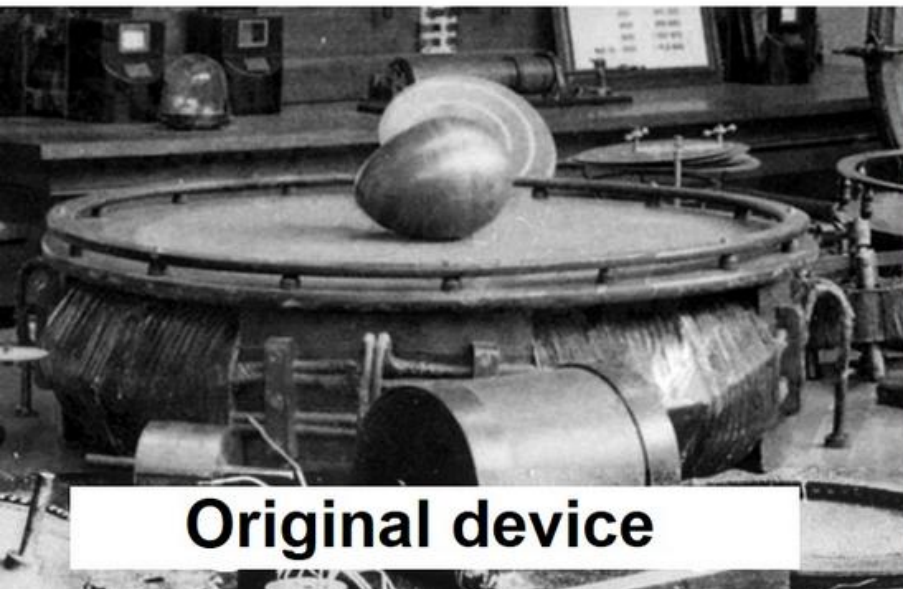
Tesla Ei

Upstraightening the spinning egg

At the World Fair in Chicago, on May 1, 1893, on the occasion of the 400th anniversary of Columbus's discovery of America, Tesla humorously demonstrated a rotating magnetic field. He connected the copper egg and the appropriate legend of Columbus's egg.

The copper egg in the shallow wooden bowl starts spinning like the rotor of an induction electric motor. Because of eddy currents in the copper, this egg-shaped rotor follows the rotating magnetic field of the two phases of the surrounding coils and straightens up as it rotates. Straightening up does not, however, occur as a result of electromagnetic impact. The egg is straightened up only by mechanical forces similar to those that act on spinning tops. The frictional force between the egg and the table accounts for the basic mechanism. If this friction force does not exist, or if the egg rolls without slipping, the ellipsoid will continue to rotate freely without straightening.

Tesla's copper egg



Original device



Museum replica

Teslatrafo mit Leuchtstoffröhre



Petflasche gefüllt mit flüssigem Stickstoff



Gesang
by Flanders
and Swann



Besichtigen Sie das Foucault-Pendel in der Basilika Pöllau und unser Museum echophysics!



FROHE
WEIHNACHTEN
MERRY

DANKE AN



Dr. Roland Lammegger - Kamera

Dr. Sonja Draxler - Comput

Roland Flois - Assistenz

Vincent Jenner - Licht

Gerhard Kelz - Finanzchef



Visit our museum - Echophysics

Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer Zinkschicht
zur Verfügung gestellt vom Institut für Elektronenmikroskopie und Nanoanalytik, TU Graz
Scanning electron microscope image of a layer of zinc
provided by the Institute of Electron Microscopy and Nanoanalysis, TU Graz

20 µm