



Fragestudien zur Klausurvorbereitung

Physik 1 für Chemiker und Biologen

07.02.2022

Prof. Dr. Ralf Jungmann
Jungmann@physik.lmu.de
Prof. Dr. Jan Lipfert
Jan.Lipfert@lmu.de

Materialien zur Veranstaltung

Webseite der Vorlesung:

https://www2.physik.uni-muenchen.de/lehre/vorlesungen/wise_21_22/pn1/index.html

Folien zur Vorlesung

Es gibt immer eine „vorher“ Version (zum Ausdrucken und selber ausfüllen) und eine „komplette“ Version (mit meinen handschriftlichen Notizen)

Aufzeichnung der Vorlesung

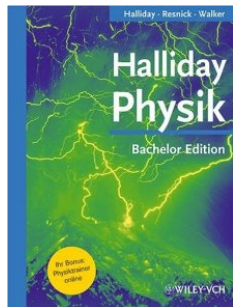
- Wir werden jede Woche eine Vorlesung online stellen
- Die Zoom Besprechungen zeichnen wir ebenfalls auf und stellen sie im Anschluss in den LMU cast



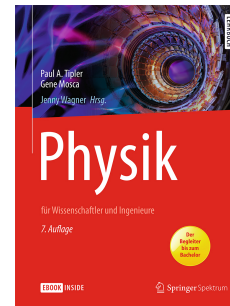
<https://en.wikipedia.org/wiki/File:SennMicrophone.jpg>

Literatur

- **Online Vorlesungen**
- **Vorlesungsfolien & ergänzendes Vorlesungsmaterial**
- **Bücher:**

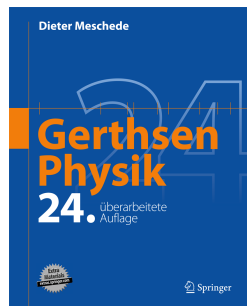


Halliday: Physik
(Bachelor Edition)
D. Halliday, R. Resnick,
J. Walker
Wiley-VCH, Berlin
ISBN: 9783527407460



Physik
Paul A. Tipler
Spektrum Akademischer Verlag
ISBN: 978-3-642-54165-0

- **Weiterführende / ergänzende Literatur:**



Gerthsen Physik
D. Meschede
Springer
ISBN: 3642128939

Vorsätze für Maßeinheiten

Symbol	Name	Ursprung	Wert		
Y	Yotta	ital. <i>otto</i> = acht	10^{24}	1.000.000.000.000.000.000.000.000	Quadrillion
Z	Zetta	ital. <i>sette</i> = sieben	10^{21}	1.000.000.000.000.000.000.000	Trilliarde
E	Exa	gr. ἑξάκις <i>hexákis</i> = sechsmal ^[3]	10^{18}	1.000.000.000.000.000.000	Trillion
P	Peta	gr. <i>petanynnein</i> = alles umfassen / gr. πεντάκις <i>pentákis</i> = fünfmal	10^{15}	1.000.000.000.000.000	Billiarde
T	Tera	gr. τέρας <i>téras</i> = Ungeheuer / gr. τετράκις <i>tetrákis</i> = viermal	10^{12}	1.000.000.000.000	Billion
G	Giga	gr. γίγας <i>gígas</i> = Riese	10^9	1.000.000.000	Milliarde
M	Mega	gr. μέγα <i>méga</i> = groß	10^6	1.000.000	Million
k	Kilo	gr. χίλιοι <i>chílioi</i> = tausend	10^3	1.000	Tausend
h	Hekto	gr. ἑκατόν <i>hekatón</i> = hundert	10^2	100	Hundert
da	Deka	gr. δέκα <i>déka</i> = zehn	10^1	10	Zehn
—	—	—	10^0	1	Eins
d	Dezi	lat. <i>decimus</i> = zehnter	10^{-1}	0,1	Zehntel
c	Zenti	lat. <i>centesimus</i> = hundertster	10^{-2}	0,01	Hundertstel
m	Milli	lat. <i>millesimus</i> = tausendster	10^{-3}	0,001	Tausendstel
μ	Mikro	gr. μικρός <i>mikrós</i> = klein	10^{-6}	0,000.001	Millionstel
n	Nano	gr. νάνος <i>nános</i> und ital. <i>nano</i> = Zwerg	10^{-9}	0,000.000.001	Milliardstel
p	Piko	ital. <i>piccolo</i> = klein	10^{-12}	0,000.000.000.001	Billionstel
f	Femto	skand. <i>femton/femten</i> = fünfzehn	10^{-15}	0,000.000.000.000.001	Billiardstel
a	Atto	skand. <i>arton/atten</i> = achtzehn	10^{-18}	0,000.000.000.000.000.001	Trillionstel
z	Zepto	lat. <i>septem</i> = sieben	10^{-21}	0,000.000.000.000.000.000.001	Trilliardstel
y	Yokto	lat. <i>octo</i> = acht	10^{-24}	0,000.000.000.000.000.000.000.001	Quadrillionstel

Wer misst misst Mist!

Physik 1 für Chemiker und Biologen 2. Vorlesung

WHAT THE NUMBER OF DIGITS IN YOUR COORDINATES MEANS

LAT/LON PRECISION	MEANING
28°N, 80°W	YOU'RE PROBABLY DOING SOMETHING SPACE-RELATED
28.5°N, 80.6°W	YOU'RE POINTING OUT A SPECIFIC CITY
28.52°N, 80.68°W	YOU'RE POINTING OUT A NEIGHBORHOOD
28.523°N, 80.683°W	YOU'RE POINTING OUT A SPECIFIC SUBURBAN CUL-DE-SAC
28.5234°N, 80.6830°W	YOU'RE POINTING TO A PARTICULAR CORNER OF A HOUSE
28.52345°N, 80.68309°W	YOU'RE POINTING TO A SPECIFIC PERSON IN A ROOM, BUT SINCE YOU DIDN'T INCLUDE DATUM INFORMATION, WE CAN'T TELL WHO
28.5234571°N, 80.6830941°W	YOU'RE POINTING TO WALDO ON A PAGE
28.523457182°N, 80.683094159°W	"HEY, CHECK OUT THIS SPECIFIC SAND GRAIN!"
28.523457182818284°N, 80.683094159265358°W	EITHER YOU'RE HANDING OUT RAW FLOATING POINT VARIABLES, OR YOU'VE BUILT A DATABASE TO TRACK INDIVIDUAL ATOMS. IN EITHER CASE, PLEASE STOP.

<https://xkcd.com/2170/>

Heute:

- Messen und Messfehler
- Fehlerfortpflanzung
- Einheiten: Zeit, Länge, Masse
- Umrechnung von Einheiten

Zusammenfassung: Einheiten und Messfehler

- Das International Einheitensystem (SI) kennt sieben Grundgrößen: **Meter, Kilogramm, Sekunde**, Ampere, Kelvin, Mol, Candela

Kontrolle der Einheiten ist eine sehr nützliche Strategie zur Überprüfung von Ergebnissen und Lösungswegen!



https://en.wikipedia.org/wiki/File:US_National_Length_Meter.JPG

Kopie des Urmeters
(Platin-Iridium Legierung)

- Messungen haben immer einen **Messfehler**.
- **Mittelwert**: beste Schätzung des „wahren“ Wertes

$$\langle x \rangle = \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

- **Standardabweichung**: Fehler der Einzelmessung

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

- **Stichprobenfehler**: Wie genau ist „wahrer“ Mittelwert nach N Messungen bestimmt?

$$\sigma_{SEM} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

Zusammenfassung: Fehlerfortpflanzung

- **Gaußsche Fehlerfortpflanzung:** Für den Fall, dass eine Größe y von den Messgrößen x_j abhängt und die Größen x_j unkorreliert sind

$$\sigma_y = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_j} \sigma_{x_j} \right)^2}$$

- **Fehlerfortpflanzung für Addition und Subtraktion:**
(Absolute) Fehler addieren sich quadratisch

$$\sigma_{Ges} = \sqrt{\sum_{j=1}^n \sigma_{x_j}^2}$$

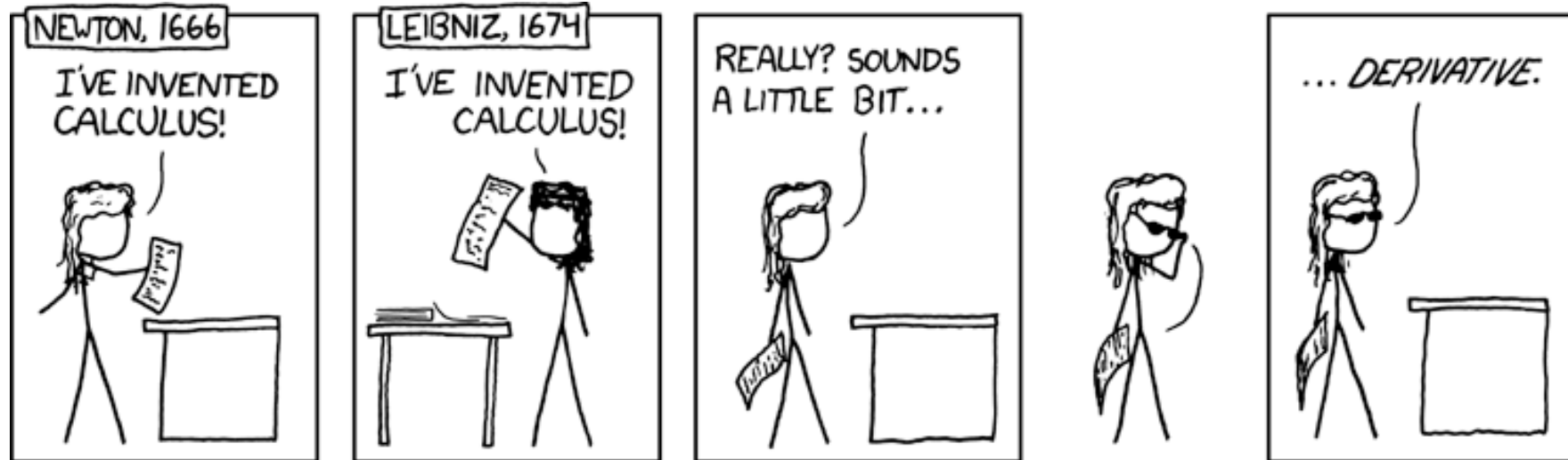
- **Fehlerfortpflanzung für Multiplikation und Division:**
Relative Fehler addieren sich quadratisch

$$\frac{\sigma_{Ges}}{y} = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left(\frac{\sigma_{x_j}}{x_j} \right)^2}$$

Citius, altius, fortius

Physik 1 für Chemiker und Biologen

3. Vorlesung



<https://xkcd.com/626/>

Heute:

- Bewegungen in 1, 2 und 3 D
- Freier Fall und Flugbahnen
- Kräfte und Bewegung
- Newtonschen Axiome

Sonderfall: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$a = \text{const.}$$

$$v = \int_0^t a dt' = at + v_0$$

$$x = \int_0^t v(t') dt' = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0$$

$$v_0 \hat{=} v \text{ zur Zeit } t=0$$

$$x_0 \hat{=} x \text{ zur Zeit } t=0$$

Zusammenfassung: Ort, Geschwindigkeit, Beschleunigung

Ort: $x(t)$ $\vec{r} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$

Mittlere Geschwindigkeit: $\bar{v} = \langle v \rangle = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

(Momentan-)

Geschwindigkeit:

(Latein: „**velocitas**“

Englisch: „**velocity**“)

$$v(t) = \lim_{t_2 \rightarrow t_1} \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} = \dot{x}$$

Mittlere Beschleunigung:

$$\bar{a} = \langle a \rangle = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

(Momentan-)

Beschleunigung:

(Latein: „**acceleratio**“

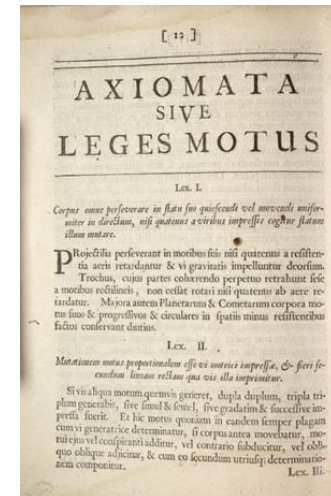
Englisch: „**acceleration**“)

$$a(t) = \lim_{t_2 \rightarrow t_1} \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{d^2 x}{dt^2} = \dot{v} = \ddot{x}$$

Zusammenfassung: Newtons Axiome

<p>1. Axiom Trägheitsprinzip</p>	<p>Ein Körper ändert ohne effektive Kraft seine Geschwindigkeit nicht.</p>
<p>2. Axiom Aktionsprinzip</p>	<p>Beschleunigung ist proportional zur Kraft und umgekehrt proportional zur Masse.</p> $\vec{F} = m\vec{a}$
<p>3. Axiom Reaktionsprinzip</p>	<p>Kräfte treten immer paarweise auf. Actio = Reactio.</p>

Newton's Axiome sind ein Spezialfall/Grenzfall der Quantenmechanik (sehr kleine Objekte verhalten sich anders) und der speziellen Relativitätstheorie (sehr schnelle Objekte verhalten sich anders).

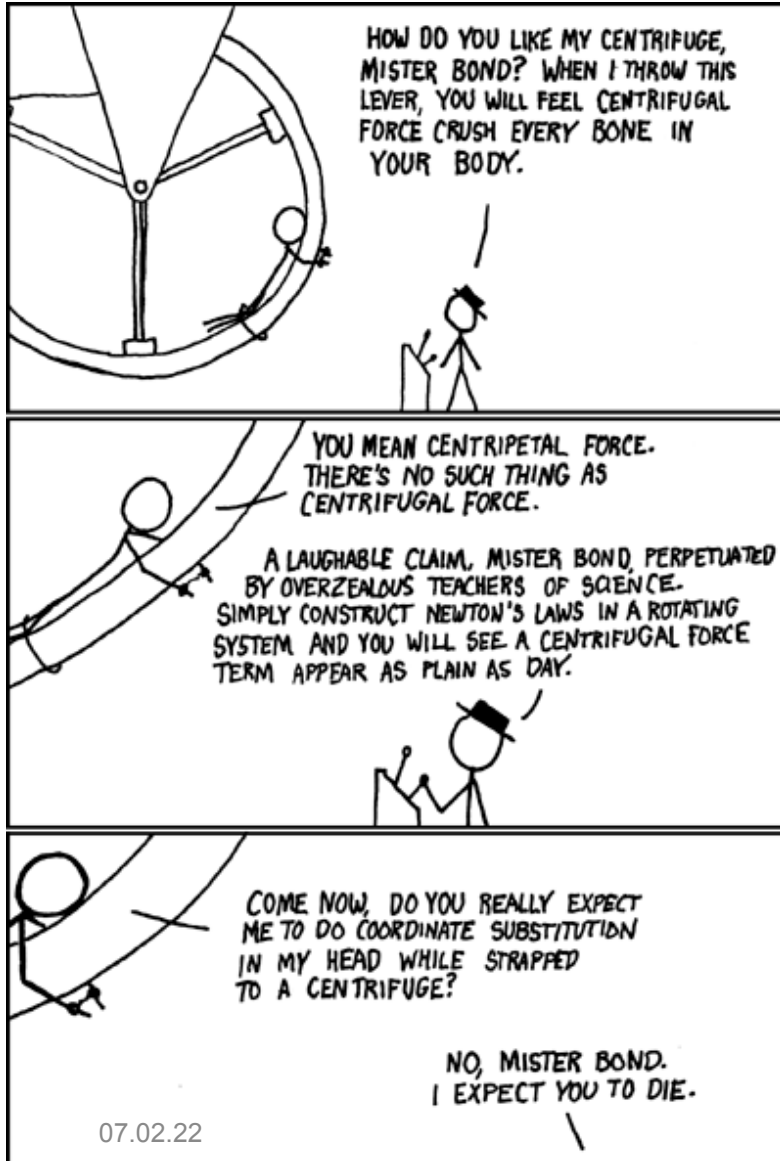


https://de.wikipedia.org/wiki/Newton'sche_Gesetze
Principia Mathematica
 (1687)

„May the force be with you!“

Physik 1 für Chemiker und Biologen

4. Vorlesung

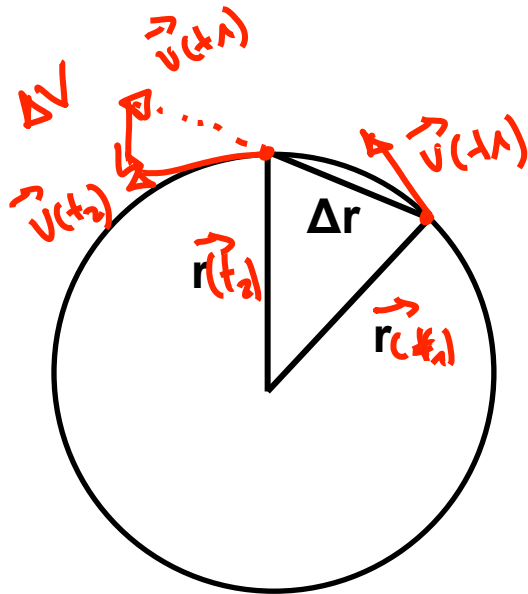


<https://xkcd.com/123/>

Heute:

- Allgemeines zu Kräften
- Kreisbewegungen & Zentrifugalkraft
- Reibungskräfte: Festkörper & Fluide

Die Zentripetalkraft



$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{|\Delta \vec{v}|}{|\vec{v}|} = \frac{\Delta v}{v}$$

$$\Rightarrow \frac{\frac{\Delta r}{\Delta t}}{r} = \frac{\frac{\Delta v}{\Delta t}}{v}$$

$$\Rightarrow \frac{v}{r} = \frac{\frac{\Delta v}{\Delta t}}{\frac{\Delta r}{\Delta t}} = \frac{a}{v}$$



<http://de.wulffplag.wikia.com/wiki/Datei:Kettenkarussell.jpg>

$$\Rightarrow a_{\text{Zentripetal}} = \frac{v^2}{r} = \omega^2 \cdot r$$

$$|F_{\text{Zentripetalkraft}}| = m \cdot a_{\text{Zentr.}} = m \cdot \frac{v^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

Experiment: Schleifscheibe und Funkenflug

Zusammenfassung: Festkörperreibung

Schiefe Ebene:

- Hangabtriebskraft

$$F_H = mg \sin \alpha$$

- Normalkraft

$$F_N = mg \cos \alpha$$

Festkörperreibung:

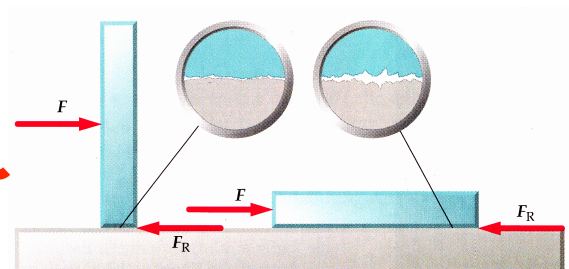
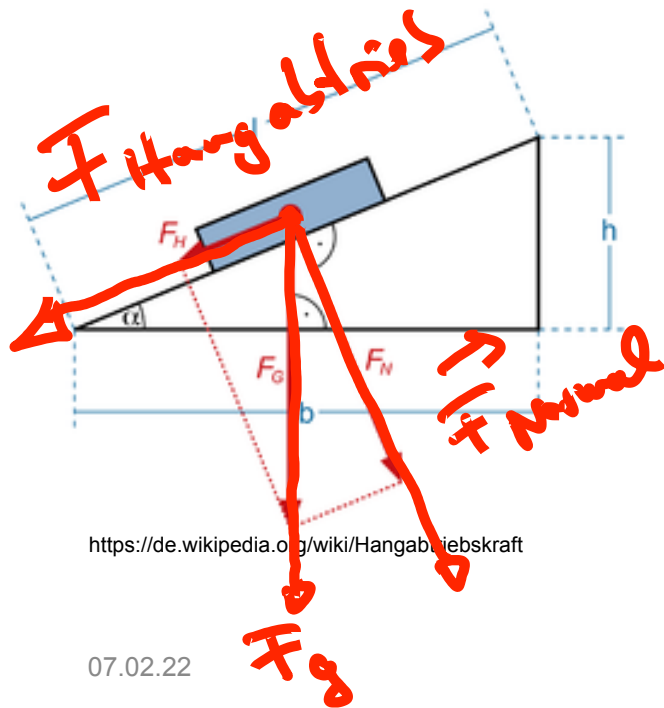
- Haftreibung

$$|F_{R,\text{Haft}}| = \mu_{R,\text{Haft}} |F_N|$$

- Gleitreibung

$$|F_{R,\text{Gleit}}| = \mu_{R,\text{Gleit}} |F_N|$$

Die Festkörperreibung ist unabhängig von v und A !



Zusammenfassung: Fluidreibung

Stokes-Reibung („Flüssigkeitsreibung“)

Gilt für:

- Kleine Körper
- Kleine Geschwindigkeiten
- Viskoses Fluid

$$\vec{F}_R = -6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R \cdot \vec{v}$$

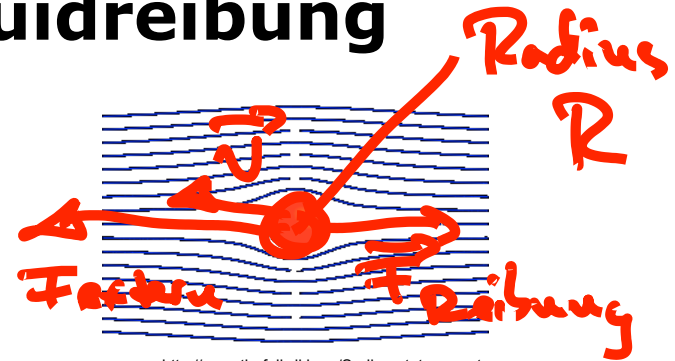
Newton-Reibung („Gasreibung“)

Gilt für:

- Große Körper
- Große Geschwindigkeiten
- Fluid/Gas mit geringer Dichte

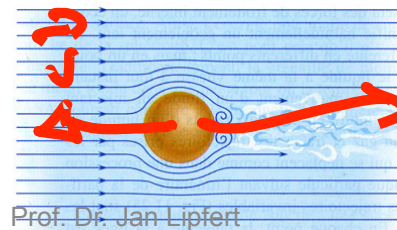
$$|\vec{F}_R| = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_W \cdot v^2$$

- ρ Dichte des Fluids
- A Referenzfläche
- C_W Strömungswiderstandskoeffizient
- v Geschwindigkeit



http://www.thefullwiki.org/Sediment_transport

- η dynamische Viskosität
- R Kugelradius bzw. effektiver Radius
- v Geschwindigkeit



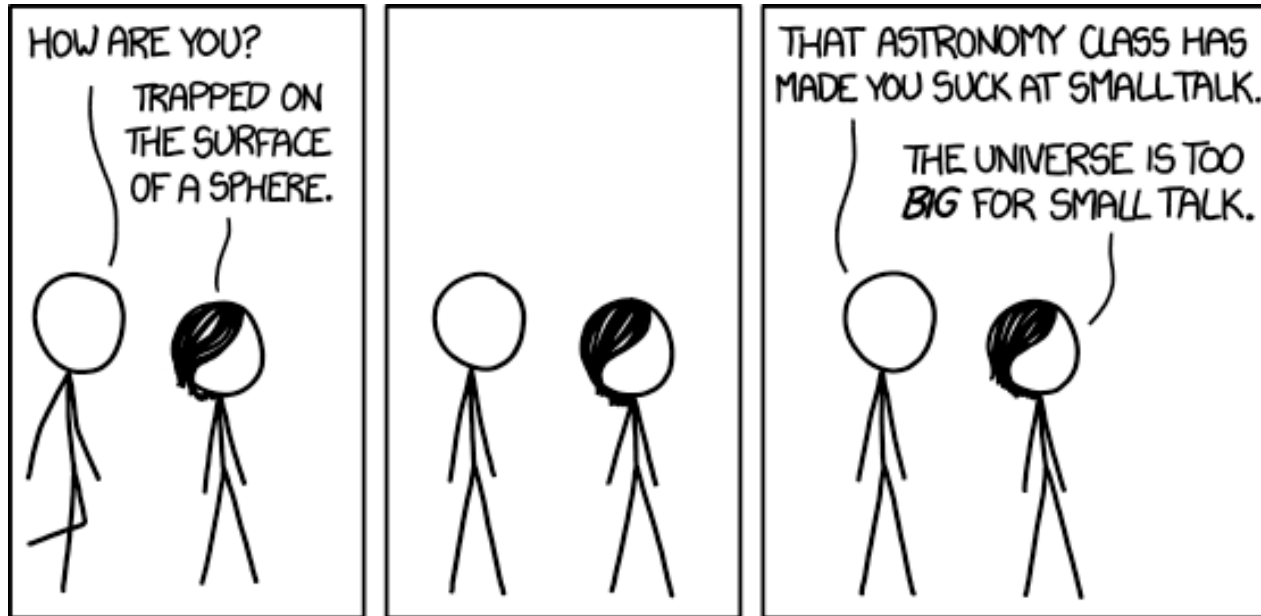
Prof. Dr. Jan Lipfert

<http://physique.vije.net/BTS/index.php?page=fluides4>

Energie

Physik 1 für Chemiker und Biologen

5. Vorlesung

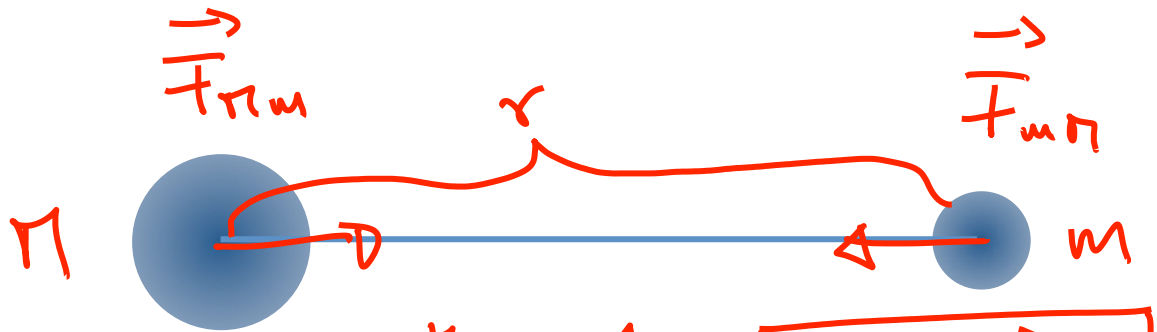


<http://xkcd.com/1248/>

Heute:

- Gravitation
- Arbeit, Energie, Leistung

Gravitationsgesetz



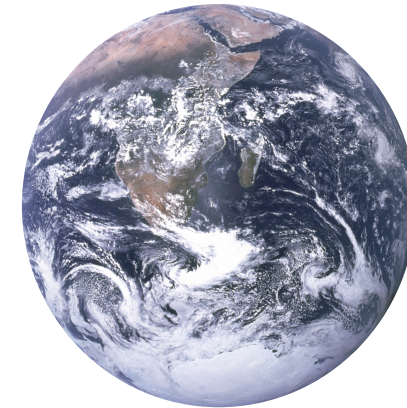
$$\vec{F}_G = -G \frac{M \cdot m}{r^2} \hat{r}$$

$$\hat{r} = \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$$

$$|F_{Kugel}| = m_K \cdot |a_K| = G \frac{M m_K}{r^2}$$

$$|F_{Feder}| = m_F \cdot |a_F| = G \frac{M m_F}{r^2}$$

$$\Rightarrow |a_F| = |a_K|$$



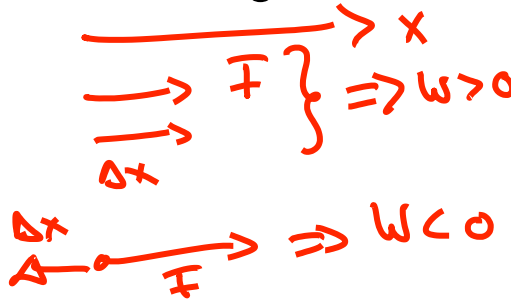
<https://de.wikipedia.org/wiki/Erde>

Gravitationskonstante $G = 6,6743 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{s}^2 \cdot \text{kg})$

Zusammenfassung: Arbeit (= „Kraft mal Weg“)

- 1D, konstante Kraft, gerader Weg

$$W = F \Delta x$$



- 1D, allgemein

$$W = \int_{x_A}^{x_B} F(x) dx$$

- 3D, konstante Kraft, gerader Weg

$$W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{r}$$

- 3D, allgemein

$$W = \int_{\vec{r}_A}^{\vec{r}_B} \vec{F}(\vec{r}) \cdot d\vec{r}$$

Einheit: „Joule“

$$[W] = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$$

Alternative Einheiten:

Kalorie: 1 cal \approx 4,18 J

Die Energie, die nötig ist um ein Gramm Wasser um ein Grad Kelvin zu erwärmen.

In der (Bio)chemie häufig:

$$\text{kcal/mol} = 4,18 \text{ kJ/mol} = 6.95 \cdot 10^{-21} \text{ J}$$

Zusammenfassung: Konservative Kräfte & potentielle Energie

- Für konservative Kräfte gilt: **Die Gesamtarbeit, die die Kraft verrichtet, ist unabhängig vom Weg**

$$W = \int_{\vec{r}_A}^{\vec{r}_B} \vec{F}(\vec{r}) \cdot d\vec{r} = \oint \vec{F}(\vec{r}) \cdot d\vec{r} = 0$$

Entlang eines geschlossenen Weges ist die verrichtete Arbeit Null!

- Potentielle Energie und Kraft:

$$\Delta E_{pot} = -W = - \int_{\vec{r}_A}^{\vec{r}_B} \vec{F}(\vec{r}) \cdot d\vec{r}$$

$$F = - \frac{dE_{pot}}{dx}$$

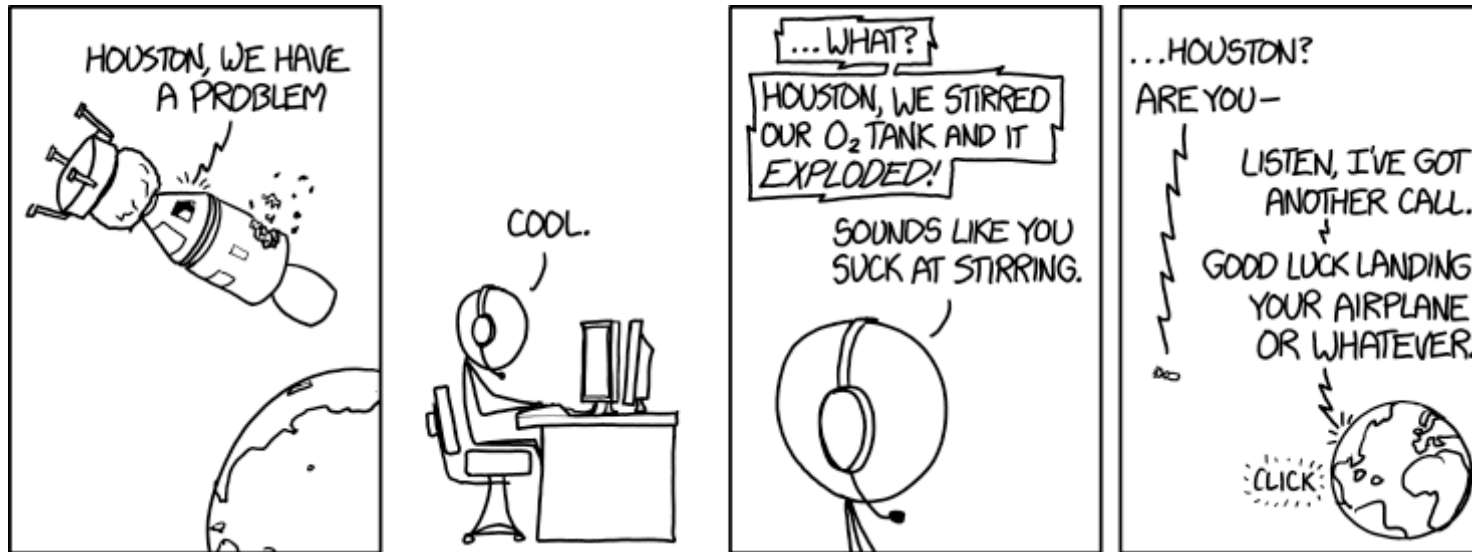
$$\vec{F} = - \vec{\nabla} E_{pot} = - \begin{pmatrix} \frac{dE_{pot}}{dx} \\ \frac{dE_{pot}}{dy} \\ \frac{dE_{pot}}{dz} \end{pmatrix}$$

- Energieerhaltungssatz der Mechanik (wenn nur konservative Kräfte wirken):

$$\Delta E_{mech} = \Delta E_{kin} + \Delta E_{pot} = 0$$

Impuls

Physik 1 für Chemiker und Biologen 6. Vorlesung



<https://xkcd.com/1438/>

Heute:

- Impuls und Impulserhaltung
- Stöße: elastisch und inelastisch

Prof. Dr. Ralf Jungmann

Jungmann@physik.lmu.de

Prof. Dr. Jan Lipfert

Jan.Lipfert@lmu.de

Zusammenfassung: Impuls

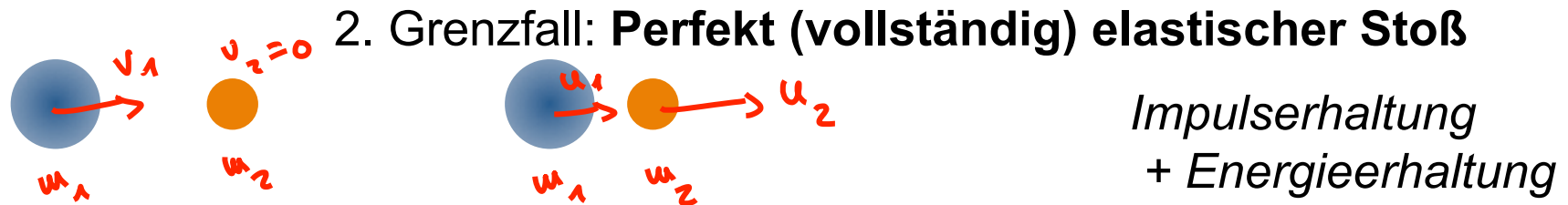
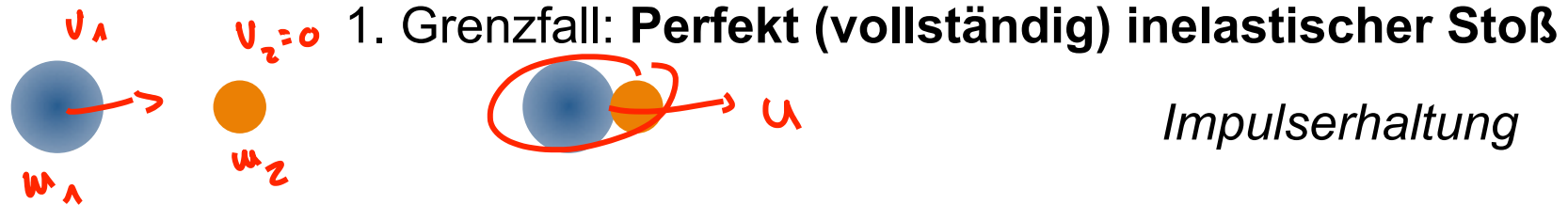
- Definition des Impuls $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$
- 2. Newtonsches Axiom in Impulsform: $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \dot{\vec{p}}$
- Impulserhaltung:

Der Gesamtimpuls $\vec{p} = \sum_i m_i \dot{\vec{r}}_i = \sum_i \vec{p}_i$

eines abgeschlossenen Systems aus Massepunkten m_1, m_2, \dots ist zeitlich **konstant**.

$$\sum F_{\text{extern}} = 0$$

Zusammenfassung: Stöße



Inelastischer Stoß

$$u = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1$$

Elastischer Stoß

$$u_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1$$

$$u_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1$$

Zusammenfassung: Raketenphysik

„Proton“ Rakete



https://de.wikipedia.org/wiki/Proton_%28Rakete%29

Impulserhaltung für nicht konstante Masse

- Effektive Ausströmgeschwindigkeit: w
- Schub („Antriebskraft“ der Rakete): $-w \frac{dm}{dt}$ ($= m \frac{dv}{dt}$)
- Geschwindigkeit nach Zeit t : $v(t) = -w \ln \left(\frac{m(t)}{m_0} \right)$

Typisch.

$$w = 4500 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\frac{m_0}{m(t)} \approx 30 - 100$$

$$v(t) = w \cdot \ln \left(\frac{m_0}{m(t)} \right)$$

$$= w \ln \left(\frac{m_R + m_T}{m_R} \right)$$

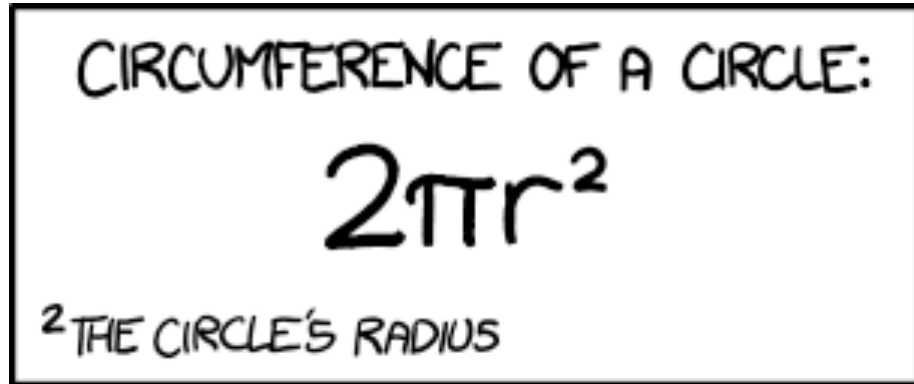
m_R = Masse der Rakete

m_T = Masse des
Treibstoffes

Drehbewegungen

Physik 1 für Chemiker und Biologen

7. Vorlesung



<https://xkcd.com/1184/>

Heute: Drehbewegungen

- Trägheitsmoment
- Drehimpuls
- Drehmoment

Prof. Dr. Ralf Jungmann

Jungmann@physik.lmu.de

Prof. Dr. Jan Lipfert

Jan.Lipfert@lmu.de

Wiederholung: Drehbewegungen

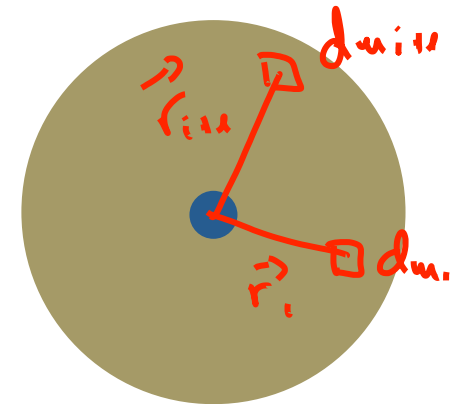
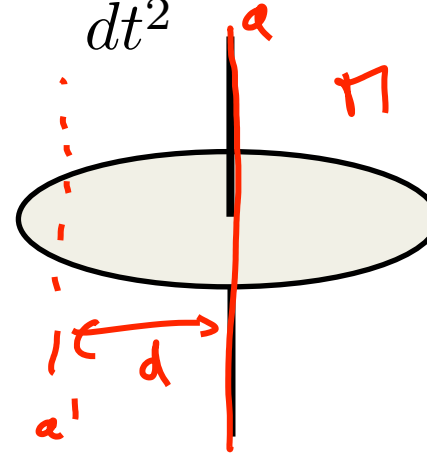
- Die Bewegung eines **starrten Körpers** lässt sich aus **Translation** und **Rotation** zusammensetzen
- Bewegungsgleichungen für Drehbewegung:
Winkel, Winkelgeschwindigkeit, Winkelbeschleunigung

$$d\vec{\phi} \quad \vec{\omega} = \frac{d\vec{\phi}}{dt} \quad \vec{\alpha} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \frac{d^2\vec{\phi}}{dt^2}$$

- **Trägheitsmoment:**

Einheit:
[I] = kg·m²

$$I = \sum_i m_i r_i^2 = \int r^2 dm = \int r^2 \rho dV$$



- **Steinerscher Satz:** $I_{a'} = I_a + Md^2$
(über parallele Achsen)

- **Rotationsenergie:** $E_{rot} = \frac{1}{2} I \omega^2$

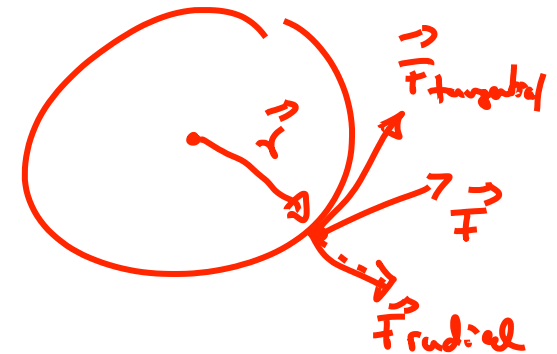
Zusammenfassung: Drehmoment und Drehimpuls

- **Drehmoment:** $\vec{T} = \vec{r} \times \vec{F}$

Einheit:

$$[T] = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2 = \text{J}$$

$$\vec{T} = |\vec{r}| F_{\text{tangential}}$$



- **Drehimpuls:** $\vec{L} = m(\vec{r} \times \vec{v}) = \vec{r} \times \vec{p}$

Einheit:

$$[T] = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s} = \text{J} \cdot \text{s}$$

$$\vec{L} = \sum_i m_i (\vec{r}_i \times \vec{v}_i) = I \vec{\omega}$$

- Wenn keine äußeren Drehmomente wirken, bleibt der Gesamtdrehimpuls konstant!
- Wenn äußere Drehmomente wirken, ändern sie den Gesamtdrehimpuls gemäß:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \dot{\vec{L}} = \sum_i \vec{r}_i \times \vec{F}_i = \vec{T}_{\text{Gesamt}}$$

Lineare vs. Drehbewegungen

Zu jeder Größe der linearen Bewegung gibt es eine korrespondierende Größe der Drehbewegung. Die Gleichungen für beide Bewegungsformen sind formal gleich!



<http://sportsnsience.utah.edu/2012/09/04/skiing-friction-basic/>



<http://de.wulffplag.wikia.com/wiki/Datei:Kettenkarussell.jpg>

Weg, Verschiebung

Drehwinkel



Geschwindigkeit

Winkelgeschwindigkeit

$$\vec{\omega} = \dot{\vec{\phi}}$$

Beschleunigung

Winkelbeschleunigung

$$\vec{\alpha} = \dot{\vec{\omega}} = \ddot{\vec{\phi}}$$

Masse

Trägheitsmoment

I

Impuls

Drehimpuls

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = I \cdot \vec{\omega}$$

Kraft

Drehmoment

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} = \dot{\vec{L}}$$

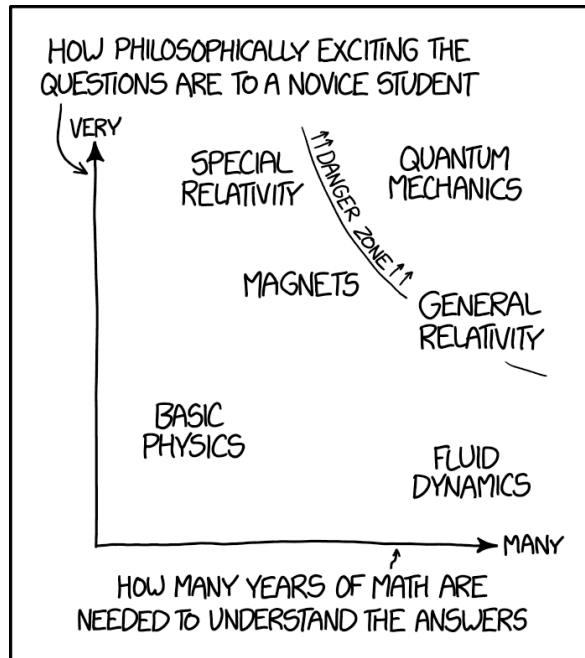
Kinetische Energie

Rotationsenergie

$$E_{rot} = \frac{1}{2} I \omega^2$$

„Alles fließt“

Physik 1 für Chemiker und Biologen 8. Vorlesung



WHY SO MANY PEOPLE HAVE WEIRD
IDEAS ABOUT QUANTUM MECHANICS

<https://xkcd.com/1861/>

Heute: Fluide

- Druck und Auftrieb
- Bernoulli-Gleichung
- Viskose Fluide
- Kapillarkraft

Zusammenfassung: Druck & Auftrieb

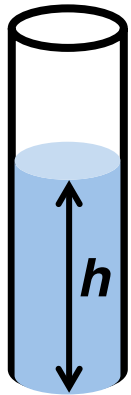
- Druck:

$$p = \frac{F}{A}$$

Einheit:

$$[p] = \text{N/m}^2 = \text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2) = \text{Pa}$$

- Schweredruck:

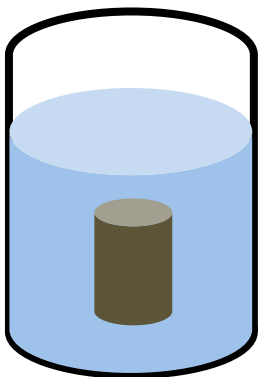


$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

Hydrostatisches Paradoxon:

Druck ist nur von der Höhe der Flüssigkeitssäule, nicht aber von der Form des Gefäßes oder Flüssigkeitsmenge abhängig.

- Auftrieb:



$$F_{\text{Auftrieb}} = g \cdot \rho_{\text{Fluid}} \cdot V$$

Archimedisches Prinzip:

Auftriebskraft = Gewichtskraft des verdrängten Fluids

Zusammenfassung: Bernoulli-Gleichung

Für die Strömung eines inkompressiblen und reibungsfreien Fluides ("ideales Fluid") gilt:

$$p + g\rho h + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{const.}$$

Statischer Druck Schweredruck Staudruck



https://de.wikipedia.org/wiki/Daniel_Bernoulli

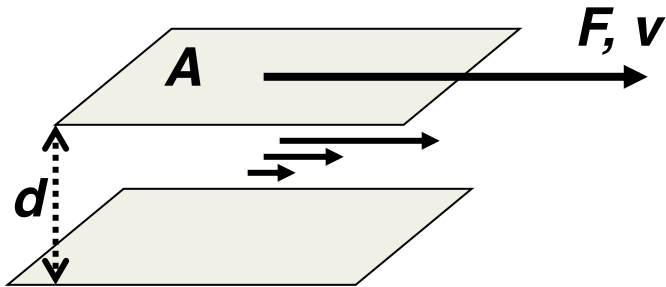
Daniel Bernoulli
(1700-1782)

Zusammenfassung: Viskose Reibung

Reale Fluide haben Viskosität, d.h. es kommt zu Energieverlusten und Reibung, wenn das Fluid strömt

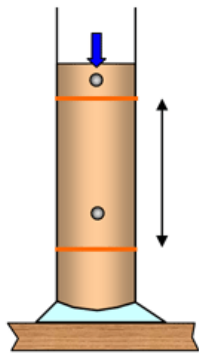
Wichtige Fälle (gelten für hohe Viskosität, kleine Geschwindigkeiten):

- Fluid zwischen zwei Platten:



$$F_{\text{Reibung}} = -\eta \cdot A \cdot \frac{v}{d}$$

- Kugel in einem viskosen Fluid (**Stokes**):

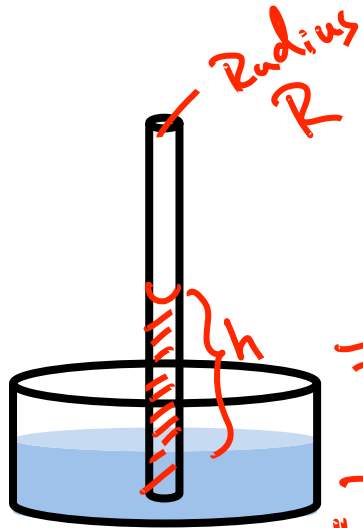


$$F_R = -6\pi \cdot \eta \cdot R \cdot v$$

(resourcefulphysics.org)

http://tap.iop.org/mechanics/drag_forces/page_39518.html

Kapillarkraft



Adhäsionskraft mit Wand

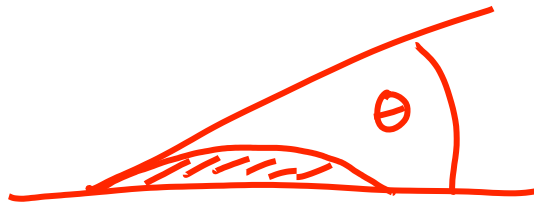
≙ Gewichtskraft

$$F_g = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g = \rho \cdot g \cdot \pi R^2 \cdot h$$

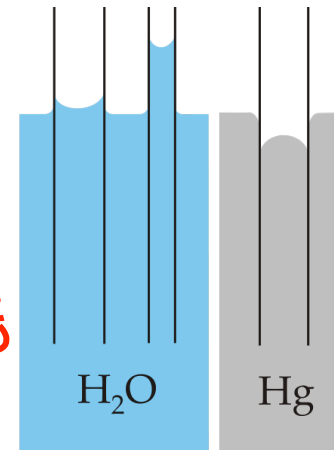
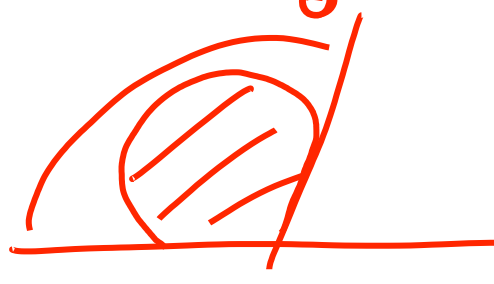
„Randkraft“: $F_{\text{rand}} = 2\pi R \cdot \sigma \cdot \cos\theta$

$$F_g = F_{\text{rand}} \Rightarrow h = \frac{2\sigma \cos\theta}{R \cdot g \cdot \rho}$$

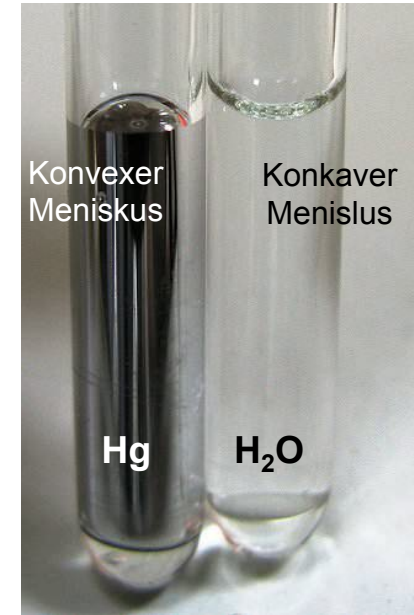
Starke attraktive Wechselwirkungen:
 $\cos\theta > 0$



Schwache, repulsive Wechselwirkungen:
 $\cos\theta < 0$



https://en.wikipedia.org/wiki/Capillary_action

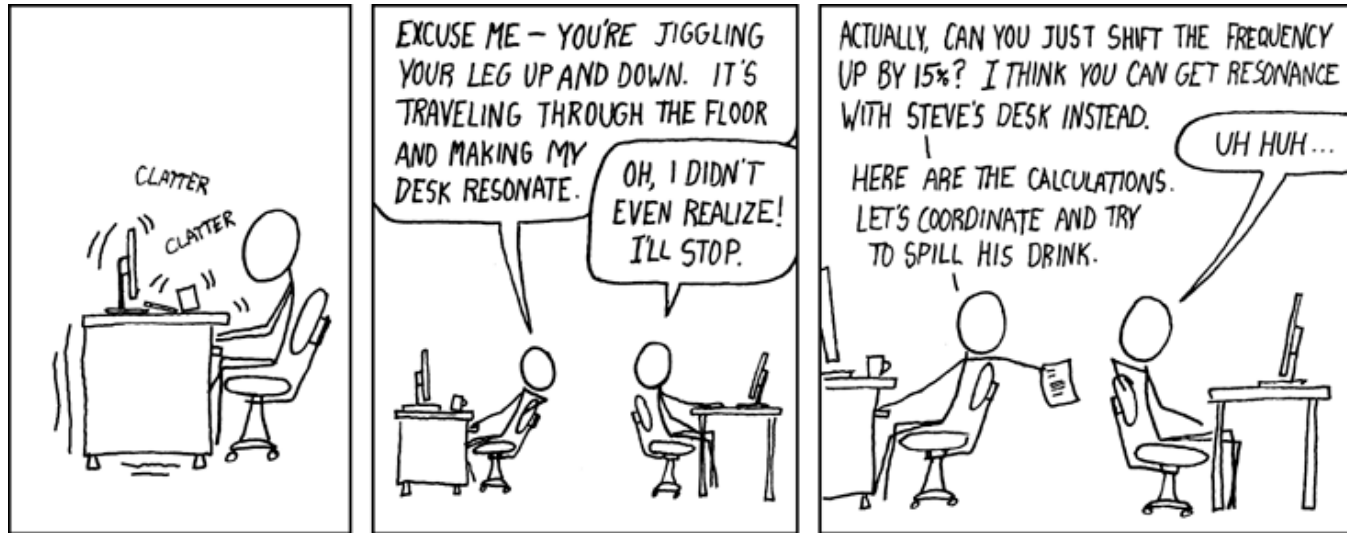


http://www.diffen.com/difference/Adhesion_vs_Cohesion

Good vibrations

Physik 1 für Chemiker und Biologen

9. Vorlesung



<https://xkcd.com/228/>

Heute: Schwingungen

- harmonisch
- gedämpft
- getrieben
- Resonanz

Zusammenfassung: Harmonische Schwingungen

System mit einer linearen Rückstellkraft, d.h. der Form

Rückstellkraft = - (positive Konstante) • (Auslenkung)

führt harmonische Schwingungen um seine Ruhelage aus. Mathematisch:

$$F = -kx \quad (\text{Hooke})$$

$$F = ma = m\ddot{x} \quad (\text{Newton II})$$

Differential-
Gleichung: $\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$

$$\omega^2 = \frac{k}{m}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Lösungen: $x(t) = A \sin(\omega t + \phi)$

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi)$$

$$x(t) = Ae^{i(\omega t + \phi)}$$

$$i^2 = -1$$

Zusammenfassung: Gedämpfte Schwingungen

Gedämpfte Schwingung:

System mit einer **linearen Rückstellkraft** und **linearen Reibungsterm**

$$F = ma = m\ddot{x} \quad (\text{Newton II})$$

$$F = -kx \quad (\text{Hooke})$$

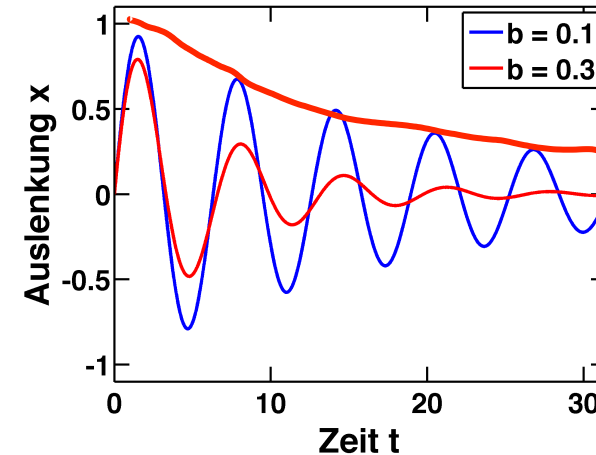
$$F_{\text{Reibung}} = -b\dot{x} \quad (\text{Stokes})$$

Differential-
Gleichung:
$$\ddot{x} + \frac{b}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = 0$$

Lösung:
$$x(t) = Ae^{-\delta t} \sin(\omega' t + \phi)$$

$$\delta = \frac{b}{2m}$$

$$\omega'^2 = \omega^2 - \delta^2$$



Verhalten der getriebenen Schwingung

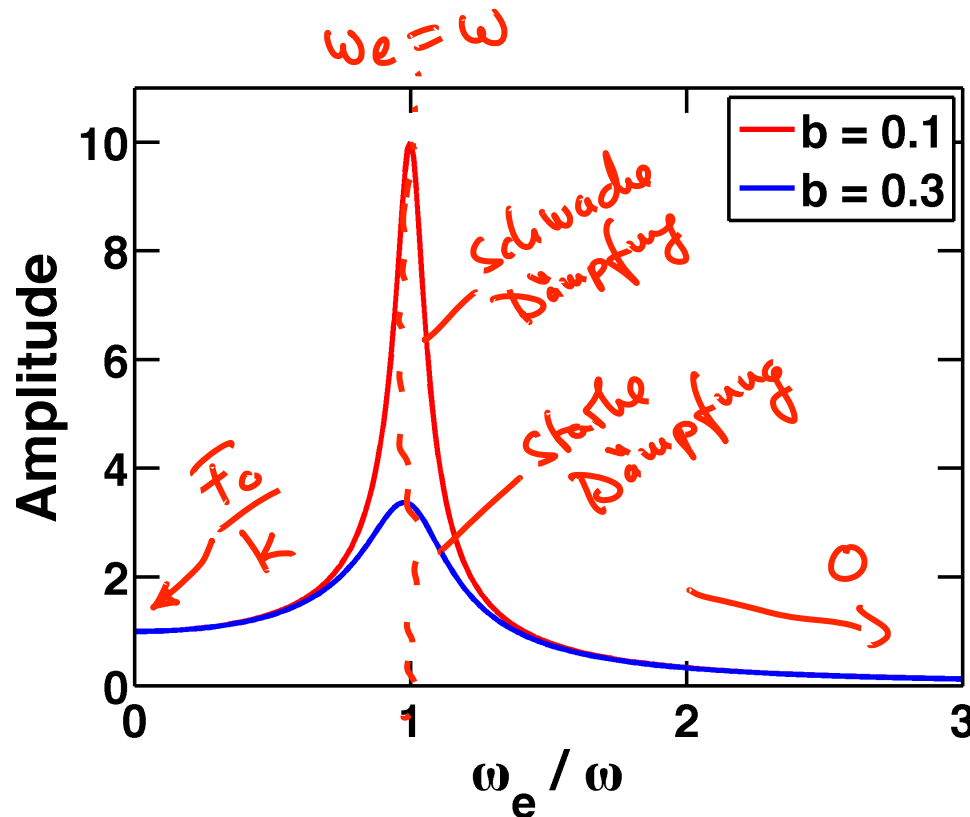
Grenzfälle:

$$A = \frac{F_0}{\sqrt{m^2(\omega^2 - \omega_e^2)^2 + b^2\omega_e^2}}$$

• $\omega_e \ll \omega$
 $\Rightarrow A \approx \frac{F_0}{k} = \text{const.}$

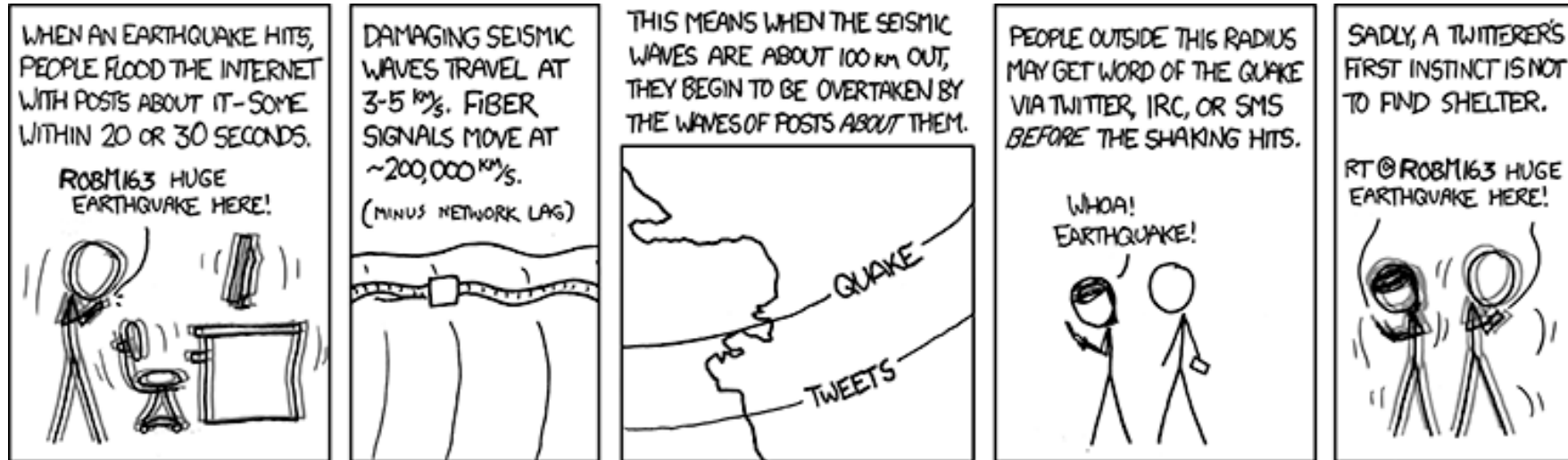
• $\omega_e \approx \omega \Rightarrow$ Amplitude maximal!

• $\omega_e \gg \omega$
 $\Rightarrow A \approx \frac{F_0}{m\omega_e^2} \rightarrow 0$ für $\omega_e \rightarrow \infty$



Wellen

Physik 1 für Chemiker und Biologen 10. Vorlesung



<https://xkcd.com/723/>

Heute: Wellen

- Longitudinal und Transversal
- Harmonische Wellen
- Superpositionsprinzip

Prof. Dr. Ralf Jungmann

Jungmann@physik.lmu.de

Prof. Dr. Jan Lipfert

Jan.Lipfert@lmu.de

Zusammenfassung: Wellen

Wellen: Sich räumlich und zeitlich ausbreitende Schwingungen

Allgemein: $y(x, t) = f(x \pm ct)$

Wichtiger Spezialfall: Harmonische Wellen

$$y(x, t) = A \sin(kx \pm \omega t + \phi)$$

Wellenlänge: λ

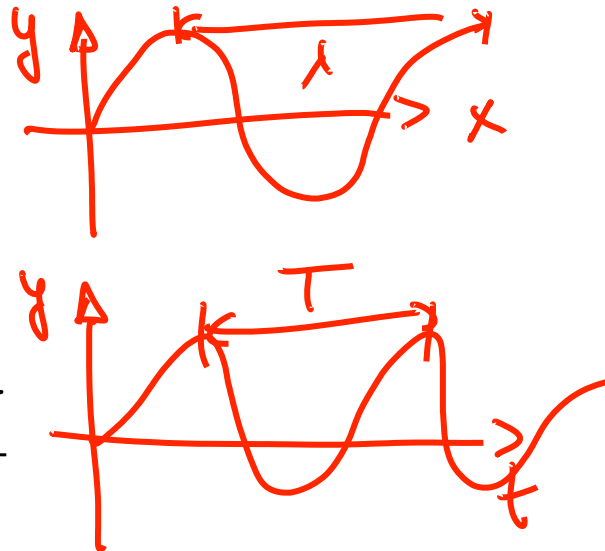
Wellenzahl: $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

Periode: T

Kreisfrequenz: $\omega = \frac{2\pi}{T}$

Frequenz: $f = \frac{1}{T}$

Phasengeschwindigkeit: $c = \frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$



Zusammenfassung: Wellengleichung und Superposition

Wellengleichung:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

Auslenkung: $y(x,t)$

Phasengeschwindigkeit: c

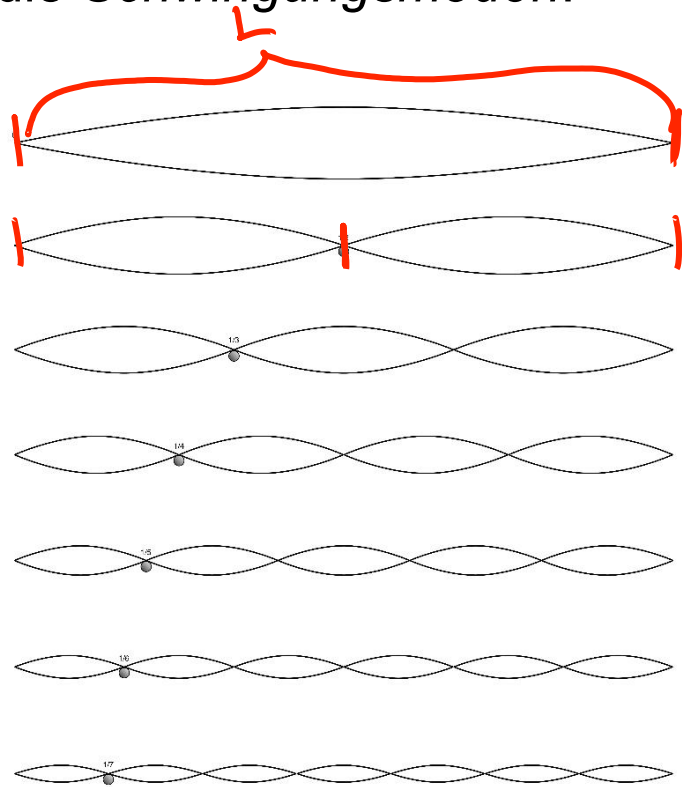
Superpositionsprinzip:

Wellen können sich überlagern und die resultierende Welle ist die Summe der Einzelwellen (so lange das Medium linear reagiert). Die Summe von Lösungen der Wellengleichung ist wieder eine Lösung der Wellengleichung.

- Wellen mit Phasenverschiebung:
Konstruktive / destruktive Interferenz
- Gegenläufige Wellen: **Stehende Wellen**
- Ähnliche Frequenzen: **Schwebungen**
- Zerlegung von Wellen in verschiedene Frequenzkomponenten: **Fourier- Analyse**
- Zerlegung von Wellen in Elementarwellen:
Huygenssches Prinzip

Oberschwingungen und Moden

Erlaubte Frequenzen einer eingespannten Saite (feste Enden!) ergeben die *Schwingungsmoden*:



$$L = \frac{\lambda}{2}$$

$$L = \lambda$$

⋮

$n=1 \rightarrow$ Fundamentale
Knoten; Grund-
Schwingung

$n=2 \rightarrow$ 1. Oberschwingung

$n=3 \rightarrow$ 2. — " —

Allgemeine Bedingung:

$$\lambda = \frac{2L}{n} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

$$c = \lambda \cdot f = \frac{\lambda}{T}$$

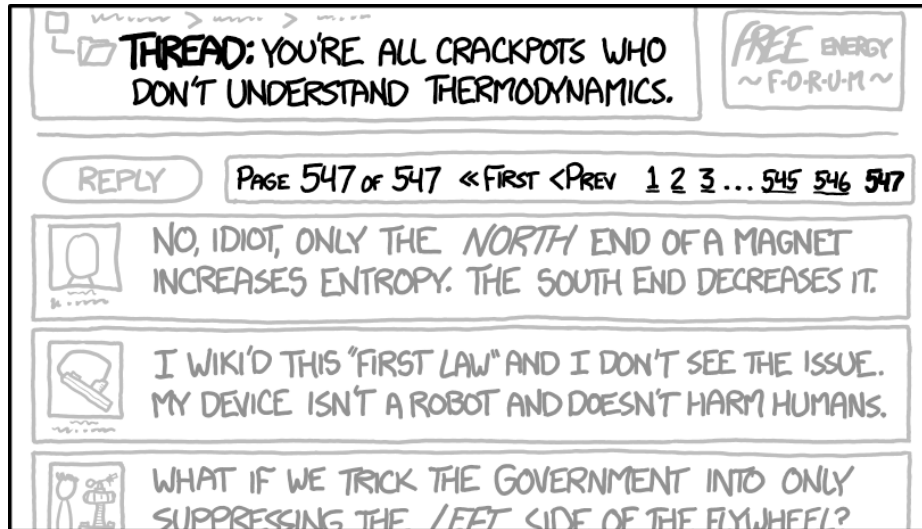
$$\Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = n \cdot \frac{c}{2L}$$

Experiment: Seilwellen – Grund und
Oberschwingungen

Thermodynamik & statistische Physik

Physik 1 für Chemiker und Biologen

11. Vorlesung



IRONICALLY, THE ARGUMENT I STARTED ON A PERPETUAL MOTION FORUM IN 2004 SHOWS NO SIGNS OF SLOWING DOWN.

<https://xkcd.com/1166/>

Heute: Thermodynamik & statistische Physik

- 0. Hauptsatz
- Temperaturskalen & Absoluter Nullpunkt
- Ideales Gas
- 1. Hauptsatz & Energieerhaltung
- 2. Hauptsatz & Entropie

Zusammenfassung: Thermodynamik und statistische Physik

Thermodynamik betrachtet Stoffe als Kontinuum und beschreibt sie mit **makroskopischen Zustandsgrößen: Druck p , Volumen V , Temperatur T .**

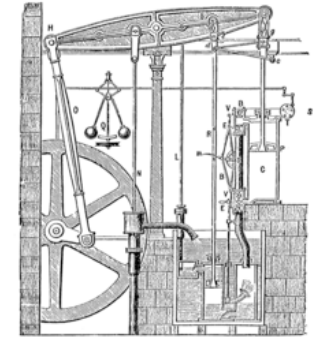
Statistische Mechanik geht von einer mikroskopischen Betrachtung der Teilchen aus und beschreibt sie mit statistischen Methoden.

Wärme ist ungeordnete Molekülbewegung.

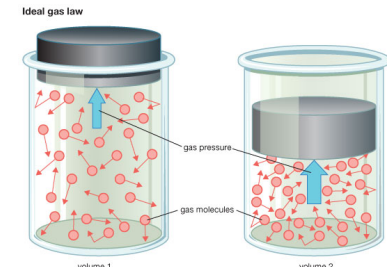
Wärmeenergie ist kinetische Energie dieser Bewegung.

Temperatur ist ein lineares Maß für den Mittelwert der kinetischen Energie der ungeordneten Molekülbewegung.

0. Hauptsatz der Thermodynamik: Befinden sich zwei Körper im thermischen Gleichgewicht mit einem dritten, so stehen sie auch untereinander in thermischen Gleichgewicht. Sie haben in diesem Fall die gleiche Temperatur.



https://en.wikipedia.org/wiki/James_Watt



© 2011 Encyclopædia Britannica, Inc.

<http://www.britannica.com/science/perfect-gas-law>

Zusammenfassung:

Thermische Ausdehnung & Temperaturskalen

- Zum Festlegen einer Temperaturskala benötigt man zwei **Temperatur-Referenzpunkte** und eine Einteilung in Untereinheiten.

- **Längenausdehnung:** $\frac{\Delta L}{L} = \alpha \Delta T$ Thermischer Längenausdehnungskoeffizient: α

- **Volumenausdehnung:** $\frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta T$ Thermischer Volumenausdehnungskoeffizient: β

- **Celsius** nutzte *kochendes Wasser* und *Eiswasser* als Referenzpunkte für die Temperatur, eingeteilt in 100 °C

$$T_C = \frac{l_T - l_0}{l_{100} - l_0} \cdot 100^\circ\text{C}$$

- **Kelvin-Skala:** gleiche Inkremente wie die Celsiusskala; beginnt am **absoluten Nullpunkt** = 0 K = -273,15 °C

Zusammenfassung: Ideales Gas

Ein **ideales Gas** besteht aus Atomen oder Molekülen, die als *punktförmige Teilchen mit Masse* genähert werden, die sich *kräftefrei* in einem Volumen V bei einem Druck p und einer Temperatur T aufhalten und *nur durch Stöße miteinander wechselwirken*.

Zustandsgleichung des idealen Gases:

$$pV = Nk_B T$$

$$pV = \tilde{n}RT$$

$$R = N_A \cdot k_B \quad \begin{array}{l} = \text{Gaskonstante} \\ = 8,314 \text{ J}/(\text{mol K}) \end{array}$$

k_B = Boltzmann Konstante
= $1,381 \cdot 10^{-23}$ J/K

N = Anzahl der Teilchen

\tilde{n} = Anzahl der Mole

Mittlere kinetische Energie
eines Gasteilchens:

$$\langle E_{kin} \rangle = \frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} k_B T$$

Zusammenfassung: 1. Hauptsatz

Die Änderung ΔU der inneren Energie eines Systems ist gleich der Summe der ihm netto zugeführten Wärme Q und der ihm netto zugeführten Arbeit W .

$$\Delta U = Q + W$$

Q , W sind Übertragungs- oder Prozessgrößen
(= keine intrinsischen Größen, beschreiben Energietransfers)

Q $\left\{ \begin{array}{l} > 0 \\ < 0 \end{array} \right.$ Wärme wird zugeführt
Wärme wird abgeführt

W $\left\{ \begin{array}{l} > 0 \\ < 0 \end{array} \right.$ System wird Arbeit zugeführt /
am System verrichtet
System verrichtet Arbeit /
Arbeit wird abgeführt

Zusammenfassung: 2. Hauptsatz

- Wärme kann nicht vollständig in Arbeit umgewandelt werden.
- In einem abgeschlossenen System nimmt die Entropie niemals ab.

$$\Delta S \geq \frac{\Delta Q}{T}$$

„Wärmetod“ als Endzustand des Universum?

„Although mechanical energy is indestructible, there is a universal tendency to its dissipation, which produces throughout the system a gradual augmentation and diffusion of heat, cessation of motion and exhaustion of the potential energy of the material Universe.“

Lord Kelvin, 1862

Maxwell-Boltzmann Verteilung

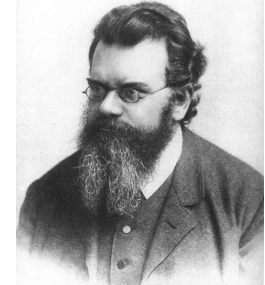
Die Geschwindigkeiten v von Gasteilchen sind statistisch verteilt und folgen der Maxwell-Boltzmann Verteilung:

$$P(v) = \underbrace{4\pi v^2} \left(\frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{3/2} \underbrace{e^{-mv^2 / (2k_B T)}}$$



https://de.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell

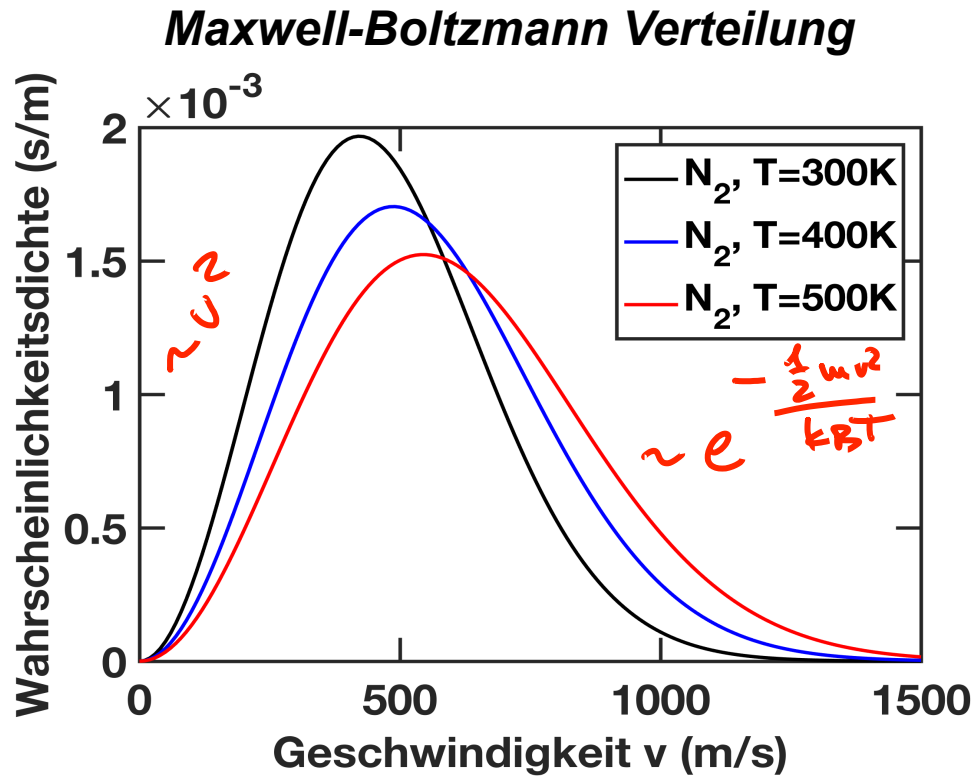
James Clerk
Maxwell
(1831-1879)



https://de.wikipedia.org/wiki/Ludwig_Boltzmann

Ludwig
Boltzmann
(1844-1906)

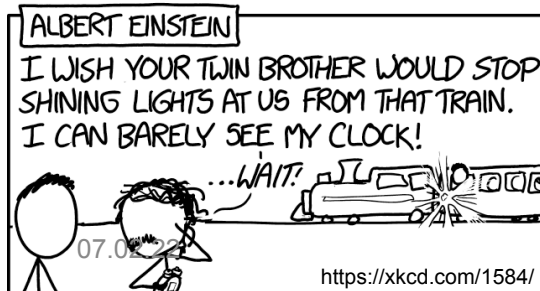
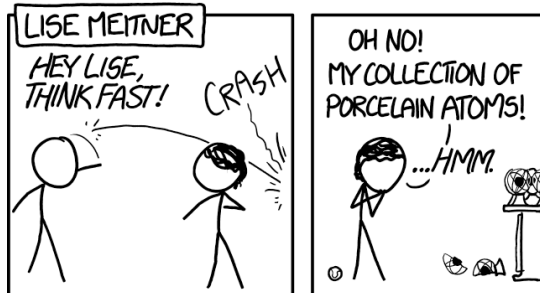
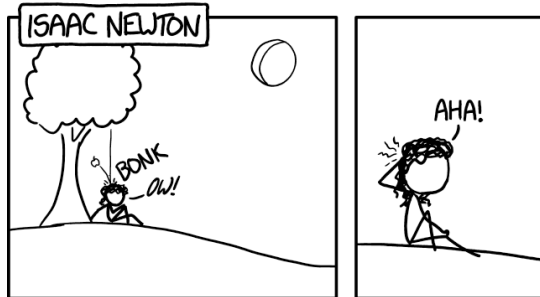
Geschwindigkeits-
verteilung Gasmodell



„The end of the world as we know it“

Physik 1 für Chemiker und Biologen

12. Vorlesung



Spezielle Relativitätstheorie:

- Lorentz-Transformation
- Zeitdilatation
- Längenkontraktion
- Impuls und Masse, relativistisch
- Kernspaltung und Kernfusion

Zusammenfassung: Einsteins Postulate und Lorentz-Transformation

Einsteins Postulate:

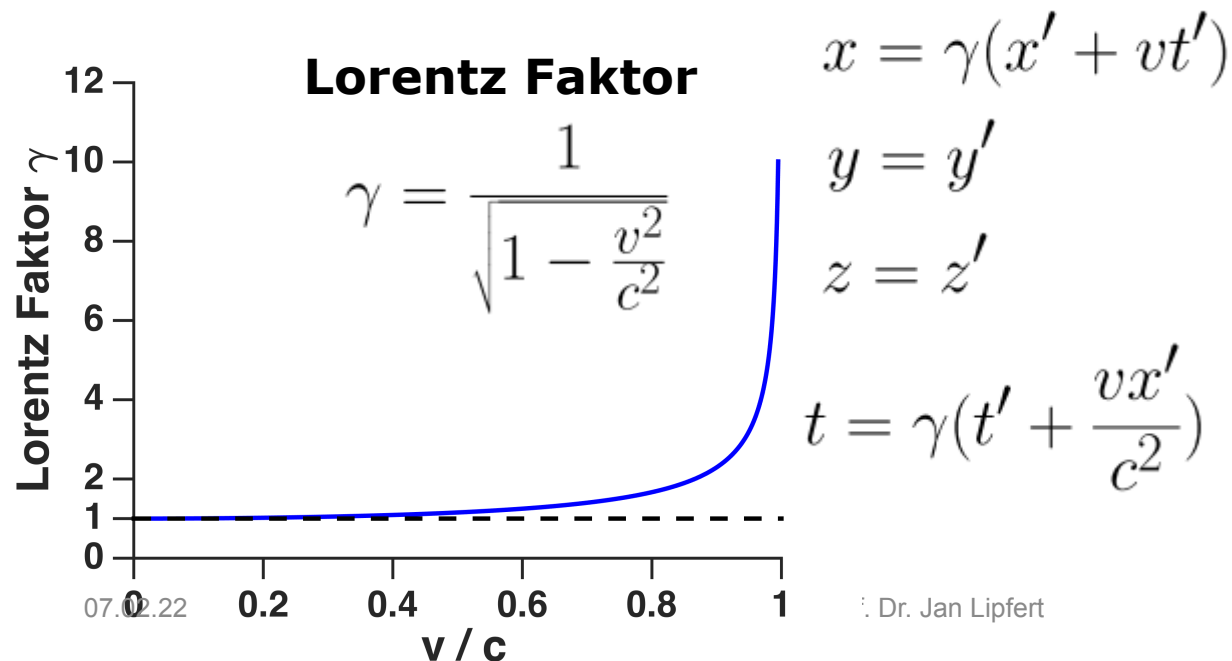
1. Die Naturgesetze sind invariant, d.h. die sind in allen Inertialsystemen gleich.
2. Jeder Beobachter misst für die Lichtgeschwindigkeit c im Vakuum denselben Wert.



http://adfc-blog.de/2014/01/tempo-30/beginn_der_zone_30/

Lorentz-Transformation

(S und S' bewegend sich relativ entlang x)



Zusammenfassung: Effekte der Speziellen Relativitätstheorie

- **Längenkontraktion**

L_0 *Eigenlänge (= Länge eines Objektes, in dem es in Ruhe ist)*

$$L = \frac{L_0}{\gamma}$$

- **Zeitdilatation**

Δt_0 *Eigenzeit (= Zeit im Inertialsystem, in dem die „Uhr in Ruhe ist“)*

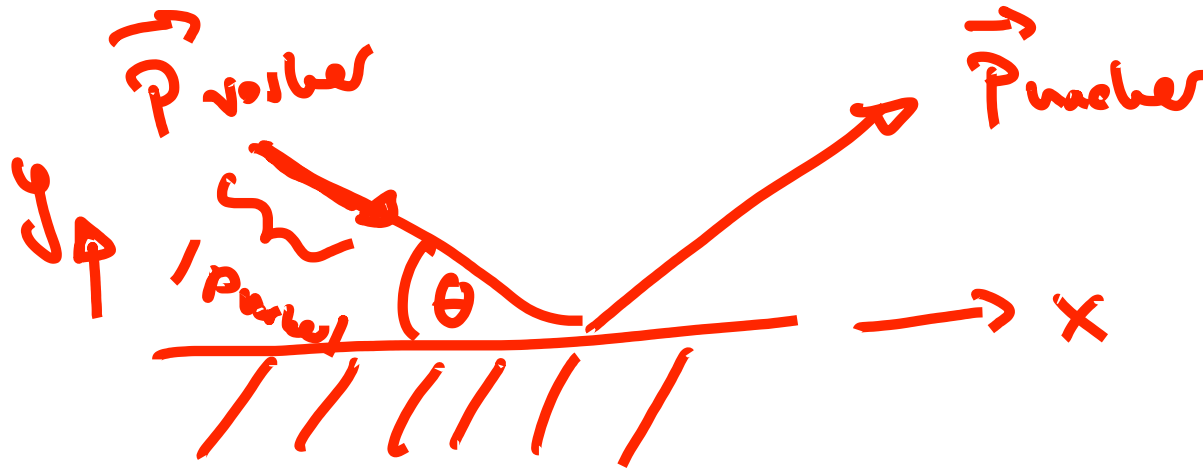
$$\Delta t = \gamma \Delta t_0$$

- **Relativistischer Impuls:** $p = \gamma m_0 v$

- **Relativistische Masse** $m = \gamma m_0$
und Energie:

$$E_{\text{ges}} = \gamma m_0 c^2$$

Notizen

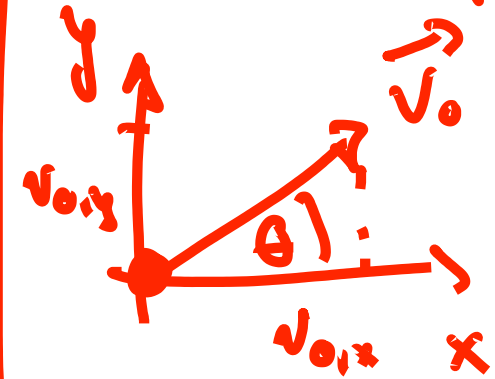


$$P_{x \text{ vorher}} = P_{x \text{ nachher}}$$

$$P_{y \text{ vorher}} \neq P_{y \text{ nachher}}$$

$$\Delta P_y = 2 P_{y, \text{ vorher}}$$

Beispiel: Schiefer
Wurf

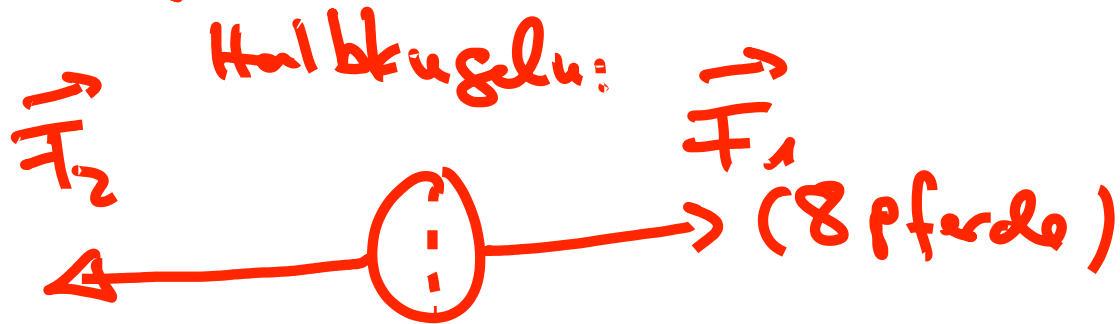


$$v_{0,y} = \sin \theta \cdot v_0$$

$$v_{0,x} = \cos \theta \cdot v_0$$

Magdeburger

Notizen



$$|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2|$$