

## Beschleunigung – Kraft

$$F = m \cdot a$$

$$[N = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}]$$

## Beschleunigung – Weg

$$x = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

$$[m = \frac{m}{s^2} \cdot s^2]$$

## Haftreibung

$$F_H = \mu_H \cdot F_N$$

$F_H$  : Haftreibung

$\mu_H$  : Haftreibungskonstante

$F_N$  : Normalkraft

# Gleitreibung

$$F_{\text{Gl}} = \mu_{\text{Gl}} \cdot F_{\text{N}}$$

$F_{\text{Gl}}$  : Gleitreibung

$\mu_{\text{Gl}}$  : Gleitreibungskonstante

$F_{\text{N}}$  : Normalkraft



## Haftreibung – Schiefe Ebene

$$\mu_H = \tan \alpha$$

Winkel  $\alpha$  für gegebenes  $\mu_H$ , ab dem die Haftreibung nicht mehr zum Halten ausreicht, also das Objekt anfängt zu “rutschen”

## Leistung

$$P = F \cdot v$$

$$\left[ \begin{aligned} W &= N \cdot \frac{m}{s} \\ &= kg \frac{m}{s^2} \cdot \frac{m}{s} \\ &= kg \frac{m^2}{s^3} \end{aligned} \right]$$

# Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}}$$

# Radialbeschleunigung

$$a = \frac{v^2}{r}$$

$$\left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \frac{\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{\text{m}} \right]$$



## Arbeit

$$W = F \cdot s$$

$$\left[ \text{J} = \text{N} \cdot \text{m} \right.$$

$$= \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m}$$

$$= \text{kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \left. \right]$$

potentielle Energie

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

$$\left[ \text{J} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} \right. \\ \left. = \text{kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right]$$

kinetische Energie

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$
$$\left[ \text{J} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right]$$

## Kreisfrequenz

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

$$\left[ \text{s}^{-1} = \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

T:    Kreisfrequenz (Umlaufzeit)



# Kreisfrequenz Hook'sche Feder

$$\omega = \sqrt{\frac{D}{m}}$$

$$\left[ \text{s}^{-1} = \sqrt{\frac{\frac{\text{N}}{\text{m}}}{\text{kg}}} \right]$$

D: Federkonstante

harmonische Schwingung:  
Beschleunigung

$$a(t) = -\omega^2 \cdot y_0 \cdot \sin \omega t = -\omega^2 \cdot y(t)$$

$$\left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \text{s}^{-2} \cdot \text{m} \right]$$

harmonische Schwingung:  
Geschwindigkeit

$$v(t) = \omega \cdot y_0 \cdot \cos \omega t$$

$$\left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} = \text{s}^{-1} \cdot \text{m} \right]$$

harmonische Schwingung:  
Auslenkung

$$y(t) = y_0 \cdot \sin \omega t$$



potentielle Energie  
Hook'sche Feder

$$W = \frac{1}{2} \cdot D \cdot x^2 = E_{\text{pot}}$$

$$\begin{aligned} \left[ J = \frac{\text{N}}{\text{m}} \text{m}^2 \right. \\ = \frac{\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\text{m}} \cdot \text{m}^2 \\ \left. = \text{kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right] \end{aligned}$$

# Kraft Hook'sche Feder

$$F = D \cdot x$$

$$\left[ \text{N} = \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot \text{m} \right]$$

# Inelastischer Stoß

$$v' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

## Elastischer Stoß

$$v_1' = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2}$$

$$v_2' = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 1m_1v_1}{m_2 + m_1}$$



# Drehimpuls

$$L = \vartheta \cdot \omega$$

$$\left[ \text{N m s} = \text{kg m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \right]$$

$$\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \text{m s} = \text{kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\left[ \text{kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = \text{kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

# Kinetische Energie Drehbewegung

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot \vartheta \cdot \omega^2$$
$$\left[ \text{J} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \right]$$
$$= \text{kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \Big]$$

## Impuls

$$p = m \cdot v$$

$$\left[ \frac{\text{kg m}}{\text{s}} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

## Kreisfrequenz Fadenpendel

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

$$\left[ \text{s}^{-1} = \sqrt{\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{1}{\text{m}}} \right. \\ \left. = \sqrt{\text{s}^{-2}} = \text{s}^{-1} \right]$$

Nur bei  $\alpha < 5^\circ$



Trägheitsmoment Stab um  
Stabende

$$\vartheta = \frac{1}{3} \cdot m \cdot l^2$$

$$\left[ \text{kg m}^2 = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \right]$$

l: Länge des homogenen Stabes

Trägheitsmoment Stab um  
Schwerpunkt

$$\vartheta = \frac{1}{12} \cdot m \cdot l^2$$

$$\left[ \text{kg m}^2 = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \right]$$

l: Länge des homogenen Stabes

# Trägheitsmoment Vollzylinder

$$\vartheta = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$$

$$\left[ \text{kg m}^2 = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \right]$$

r: Durchmesser des Zylinders

# Trägheitsmoment Hohlzylinder

$$\vartheta = m \cdot r^2$$

$$\left[ \text{kg m}^2 = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \right]$$



Transformation  
Geschwindigkeit –  
Winkelgeschwindigkeit

$$v = r \cdot \omega$$

$$\left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} = \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \right]$$

# Trägheitsmoment Kugel

$$\vartheta = \frac{2}{5} \cdot m \cdot r^2$$

$$\left[ \text{kg m}^2 = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \right]$$

leeres Duplikat

# 31

*Antwort*

---

## Leistung Translation

$$P = F \cdot v = M \cdot \omega$$

$$\left[ W = N \cdot \frac{m}{s} = Nm \cdot s^{-1} \right]$$

$$\left[ kg \frac{m^2}{s^3} = kg \frac{m}{s^2} \cdot \frac{m}{s} \right]$$



# Drehmoment

$$M = F \cdot r$$

$$\left[ \text{Nm} = \text{N} \cdot \text{m} \right]$$

# Kreisfrequenz Drehschwingung

$$\omega = \sqrt{\frac{D}{\vartheta}}$$

$$\left[ \text{s}^{-1} = \sqrt{\frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot \frac{1}{\text{kg m}^2}} \right]$$

# Rückstellmoment Drehschwingung

$$M = -D_\varphi \cdot \varphi$$

$$[\text{Nm} = \text{Nm?}]$$

$D_\varphi$  : Torsionsfederkonstante

$\varphi$  : Verdrillungswinkel

## Präzessionsfrequenz

$$\omega_{\text{p}} = \frac{M}{L} = \frac{F \cdot r \cdot \sin \varphi}{\vartheta \cdot \omega_{\text{r}}}$$

$$\left[ \text{s}^{-1} = \frac{\text{Nm}}{\text{N m s}} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{kg m}^2 \cdot \text{s}^{-1}} \right]$$



## Satz von Steiner

$$\vartheta = m \cdot a^2 + \vartheta_{\text{SP}}$$

$$\left[ \text{kg m}^2 = \text{m}^2 \cdot \text{kg} + \text{kg m}^2 \right]$$

- $\vartheta_{\text{SP}}$  Trägheitsmoment durch Schwerpunkt  
 $\vartheta$  Trägheitsmoment durch neue Achse,  
|| zur Achse von  $\vartheta_{\text{SP}}$   
 $a$  Abstand der beiden Achsen

# Gravitationskonstante

$$\gamma = 6,6742 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N m}^2}{\text{kg}^2}$$

# Gravitationspotential

$$\varphi = -\frac{\gamma \cdot m}{r}$$

$$\left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = \frac{\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \text{kg}}{\text{m}} \right]$$

$$= \text{N} \frac{\text{m}}{\text{kg}} = \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \frac{\text{m}}{\text{kg}} \Big]$$

pot. Energie Gravitation

$$E_{\text{pot}} = - \frac{\gamma \cdot m_1 \cdot m_2}{r}$$

$$\left[ \begin{aligned} \text{J} &= \frac{\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \text{kg} \cdot \text{kg}}{\text{m}} \\ &= \text{Nm} \end{aligned} \right]$$



# Gravitationsfeldstärke

$$g = -\frac{\gamma \cdot M}{r^2}$$

$$\left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \frac{\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \text{kg}}{\text{m}^2} \right]$$
$$= \frac{\text{N}}{\text{kg}} = \frac{\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\text{kg}} \quad ]$$

M : Planetenmasse

# Gravitationskraft

$$F_G = -\gamma \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$\left[ N = \frac{\text{N m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{\text{kg}^2}{\text{m}^2} \right]$$

# Erhaltungssätze der klassischen Physik

- Energien
- Impulse
- Drehimpulse
- elektrische Ladungen

## Corioliskraft

$$F_C = m \cdot a_c = 2 \cdot m \cdot v_{\perp} \cdot \omega$$

$$\left[ \text{N} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \text{s}^{-1} \right]$$

- $a_c$ : Coriolisbeschleunigung  
 $v_{\perp}$ : Geschwindigkeit des Körpers, rel.  
zum rotierenden Bezugssystem  
 $\omega$ : Winkelgeschwindigkeit Bezugssystem



# Keplersche Gesetze

- Planeten auf Ellipsen mit Sonne im gemeinsamen Brennpunkt
- Radiusvektor überstreicht in gleicher Zeit gleiche Fläche:  $\frac{\Delta A}{\Delta t} = \text{const}$
- Umlaufzeit  $T_{1,2}$ , große Halbachse  $a_{1,2}$  zweier Planeten:  $\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$

# Planet auf Kreisbahn

$$\frac{r_p^3}{T_p^2} = \gamma \frac{m_s}{4\pi^2} = \textit{const.}$$

$r_p$ : Radius Planetenbahn

$T_p$ : Umlaufzeit Planet

$m_s$ : Masse der Sonne

# Gebundener und ungebundener Zustand

$$E = E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} = \frac{1}{2}m_2v^2 - \gamma\frac{m_1m_2}{r}$$

$E \geq 0$ : ungebunder Zustand,  $m_2$  kann sich beliebig weit von  $m_1$  entfernen

$E < 0$ : gebunder Zustand

## Elastizitätsmodul

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$\left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{\frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{1} \right]$$



# Zugfestigkeit

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

$$\left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

## Hooksches Gesetz

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$\left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 1 \right]$$

relative Längenänderung

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

$$\left[ 1 = \frac{\text{m}}{\text{m}} \right]$$

## Poisson-Zahl

$$\mu = \left| \frac{\frac{\Delta d}{d}}{\frac{\Delta l}{l}} \right|$$

Querkontraktion, Dicke nimmt  $\perp$  zur Dehnung ab.



Druck

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

$$\left[ \text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

# Kompressibilität

$$\frac{\Delta V}{V} = -\kappa p$$

$$\Rightarrow \kappa = \frac{3}{E}(1 - 2\mu)$$

$$\left[ \frac{1}{\text{Pa}} = \frac{1}{\frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \right]$$

## Kompressionsmodul

$$K = \frac{1}{\kappa}$$

$$\left[ \text{Pa} = \frac{1}{\frac{1}{\text{Pa}}} \right]$$

# Scherspannung

$$\tau = \frac{F_s}{A} = G\alpha$$

$F_s$ : Scherkraft, tangential zu A

G: Torsions- oder Schubmodul [Pa]

$\alpha$ : Scherwinkel



Torsionskonstante  
dünnwandiges Rohr

$$D_{\varphi} = \frac{2\pi r^3 d}{l} G$$

$$\left[ \text{N m} = \frac{\text{m}^3 \text{ m}}{\text{m}} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

r: Rohrradius

d: Rohrwandstärke,  $d \ll r$

l: Rohrlänge

Torsionskonstante  
Vollstab

$$D_{\varphi} = \frac{\pi}{2} \frac{R^4}{l} G$$
$$\left[ \text{N m} = \frac{\text{m}^4}{\text{m}} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

R: Rohrradius

l: Rohrlänge

## Drehmoment Torsion

$$M = D_\varphi \cdot \varphi$$

$$\left[ \text{N m} = \text{N m} \right]$$

Dehnung eines Stabes  
Federkonstante

$$D = \frac{E \cdot A}{l}$$

$$\left[ \frac{\text{N}}{\text{m}} = \frac{\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^2}{\text{m}} \right]$$



potentielle Energie  
Dehnarbeit

$$W = \frac{1}{2} \cdot E \cdot A \cdot l \cdot \varepsilon^2 = \frac{1}{2} \cdot E \cdot V \cdot \varepsilon^2$$

$$\left[ J = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{m} = \text{N m} \right]$$

## Energiedichte Dehnung

$$w = \frac{W}{V} = \frac{E}{2} \varepsilon^2$$

$$\left[ \frac{\text{J}}{\text{m}^3} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right. \\ \left. = \frac{\text{N m}}{\text{m}^3} \right]$$

## Energiedichte Torsion

$$w = \frac{G}{2} \alpha^2$$

$$\left[ \frac{\text{J}}{\text{m}^3} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right. \\ \left. = \frac{\text{N m}}{\text{m}^3} \right]$$

## **Hinweise zur Nutzung dieser Karteilernkarten:**

Die Karten wurden von allen Beteiligten nach bestem Wissen und Gewissen erstellt, für Fehlerfreiheit und Klausurgelingen kann aber keine Garantie gegeben werden.

”THE BEER-WARE LICENSE”:

Moritz Augsburger (and others, see <https://github.com/maugsburger/exph>) wrote this file. As long as you retain this notice you can do whatever you want with this stuff.

If we meet some day and you think this stuff is worth it, you can buy me a beer or a coffee in return.