1. Einführung

1.1. Trigonometrie

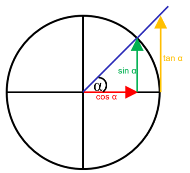
$$a = \text{Ankathete}$$

$$g = \text{Gegenkathete}$$

$$h = \text{Hypothenuse}$$

$$\sin(a) = \frac{g}{h},\ \ \cos(a) = \frac{a}{h},\ \ \tan(a) = \frac{g}{a} = \frac{\sin(a)}{\cos(a)}$$

$$g = h \cdot \sin(a),\ \ h = \frac{g}{\sin(a)},\ \ a = \arcsin\left(\frac{g}{h}\right)$$



1.2. Vektor

Kreuzprodukt:

$$\begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} a_y b_z - a_z b_y \\ a_z b_x - a_x b_z \\ a_x b_y - a_y b_x \end{pmatrix}$$

1.3. Ableitung

Funktion	Ableitung
x^a	$a \cdot x^{a-1}$
$\frac{1}{x}$	$-\frac{1}{x^2}$
$\sqrt{x}$	$\frac{1}{2\sqrt{x}}$
$\sin(x)$	$\cos(x)$
$\cos(x)$	$-\sin(x)$
$\tan(x)$	$\frac{1}{\cos(2)^x}$

2. Statik

2.1. Schwerkraft

Gravitationsgesetz:

$$F_G = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Gravitationskonstante G:

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{\text{kgs}^2}$$

Fallbeschleuningung g:
$m_E = 5.972 \cdot 10^{24}$ kg, $r_E = 6378$ km

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

2.2. Reibung

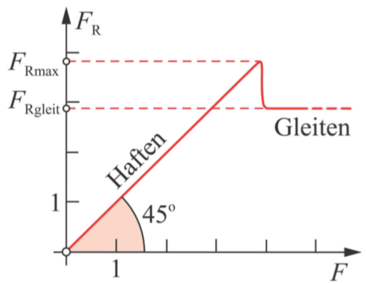
Wenn Körper auf horizontale Fläche liegt:

$$F_G = -F_N$$

Haft-/Gleitreibungskraft:

$$F_R = \mu_H \cdot F_N$$

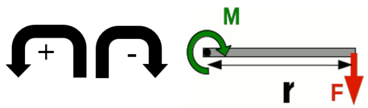
$$F_{\text{Gleit}} \approx \mu_H \cdot F_N$$



2.3. Drehmoment

Drehmoment M (a = Hebellänge):

$$M = a \cdot F$$



2.4. Deformierbarer Körper

A = Fläche m^2,
F = Kraft senkrecht zur Fläche N,
E = Elastizitätsmodul Nm^{-2},
μ = Poissonzahl (< 0.5),
G = Schubmodul
p = Druckspannung

2.4.1. Spannung

Zugspannung σ:

$$\sigma := \frac{F_\perp}{A} = -p$$

Hook'sche Gesetz
(relative Änderung [0-1]):

$$\varepsilon = \frac{1}{E}\sigma$$

2.4.2. Dehnung

Dehnung ($\triangle\, l$ = Verlängerung):

$$\varepsilon = \frac{\triangle\, l}{l}$$

Schubspannung τ:

$$\tau := \frac{F_\parallel}{A}$$

Scherwinkel:

$$\gamma = \frac{1}{G} \cdot \tau$$

Schubmodul G:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)}$$

Querkontraktion ε_q (d = Urprungsdicke, $\triangle\, d$ = Dickeänderung):

$$\varepsilon_q = \frac{\triangle\, d}{d}$$

$$\varepsilon_q = -\mu \cdot \varepsilon$$

2.4.3. Kompression

Kompression ($\triangle\, p$ = Druckänderung):
κ = Kompressibilität

$$\frac{\triangle\, V}{V} = -\kappa \cdot \triangle\, p$$

2.4.4. Schubbeanspruchung

Torsionsmodul G:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

2.5. Beispiele

2.5.1. Torsionsfeder

c = Konstante
φ = Winkel der Drehung
G = Schubmodul
l = Länge der Torsionsfeder
r = Radius der Torsionsfeder

$$M = c \cdot \varphi$$

$$c = \frac{\pi G r^4}{2l}$$

Bei M konstant:

$$l \to 2l \Rightarrow \varphi \to 2\varphi$$

$$r \to 2r \Rightarrow \varphi \to \frac{\varphi}{16}$$

$$E \to 2E \Rightarrow \varphi \to \frac{\varphi}{2}$$

$$\mu(0.2) \to \mu(0.3) \Rightarrow \varphi(0.2) < \varphi(0.3)$$

2.5.2. Schraubenfeder

k = Federkonstante
n = Windungszahl
R = Windungsradius
r = Drahtdurchmesser
x = Auslenkung

$$k = \frac{Gr^4}{4nR^3}$$

$$F = kx$$

$$x = \frac{F}{k} = \frac{4nR^3 \cdot F}{Gr^4}$$

Bei konstanter Kraft F:

$$r \to 2r \Rightarrow x \to \frac{x}{16}$$

$$R \to 2R \Rightarrow x \to 8x$$

$$E \to 2E \Rightarrow x \to \frac{x}{2}$$

$$\mu(0.2) \to \mu(0.3) \Rightarrow x \text{ wird grösser}$$

2.5.3. Plattfeder

b = Breite Material
h = Höhe Material
l = Länge Material
p = Dichte des Materials
E = Elastizitätsmodul
z = Auslenkung

$$z = \frac{4l^3}{Ebh^3}$$

Maximale Durchbiegung:

$$z = \frac{5pgl^4}{32Eh^2}$$

3. Kinematik

3.1. Bewegung

Mittlere Geschwindigkeit:

$$\vec{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{x(t_2) - x(t_1)}{t_2 - t_1}$$

Momentane Geschwindigkeit:
$v(t) = \lim_{\triangle t \to 0} \frac{\triangle x}{\triangle t} = \frac{d}{dt}x(t)$

Mittlere Beschleunigung:

$$\vec{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{v(t_2) - v(t_1)}{t_2 - t_1}$$

Momentane Beschleunigung:

$$a(t) = \lim_{\triangle t \to 0} \frac{v(t) - v(t - \triangle\, t)}{\triangle\, t} = \frac{d}{dt}v(t)$$

Aufprallgeschwindigkeit (Höhe h):

$$v = \sqrt{2gh}$$

3.2. Lineare Bewegung

3.2.1. Gleichförmige Bewegung

Eine gleichförmige Bewegung ist eine Bewegung, bei der die Beschleunigung 0 ist.

$$a(t) = 0$$

Geschwindigkeit durch Integration:

$$v(t) = v_0 = \text{konstant}$$

Ort durch Integration:

$$x(t) = v_0 \cdot t + x_0$$

3.2.2. Gleichmässig beschleunigte Bewegung

Bei einer gleichmässig beschleunigten Bewegung ist die Beschleunigung konstant.

$$a(t) = a_0 = \text{konstant}$$

$$v(t) = a_0 t + v_0$$

$$x(t) = \frac{1}{2}a_0 t^2 + v_0 t + x_0$$

3.3. Beliebige Bewegungen

Mittlere Geschwindigkeit:

$$\vec{v} = \frac{\triangle \vec{r}}{\triangle t}$$

$$\triangle \vec{r} = \vec{r}(t + \triangle t)\vec{r}(t)$$

Momentane Geschwindigkeit:

$$\vec{v}(t) := \lim_{\triangle t \to 0} \frac{\vec{r}}{\triangle t} = \frac{d}{dt}\vec{r}(t)$$

3.3.1. Beschleunigung

Mittlere Beschleunigung:

$$\vec{a} = \frac{\triangle \vec{v}}{\triangle t}$$

Momentane Beschleunigung:

$$\vec{a} := \frac{d}{dt}\vec{v} = \dot{\vec{v}} = \frac{d^2}{dt^2}\vec{r} = \ddot{\vec{r}}$$

$$\vec{a} = \frac{d^2}{dt^2}\vec{r} = \frac{d}{dt}\vec{v} = \lim_{\triangle t \to 0} \frac{\vec{v}(t) - \vec{v}(t - \triangle t)}{\triangle t}$$

$$a_{\text{tangential}} = \lim \frac{\triangle v_{\text{tangential}}}{\triangle t} = \frac{d}{dt}v = \dot{v}$$

$$a_{\text{radial}} = \lim \frac{\triangle v_{\text{radial}}}{\triangle t} = \frac{v^2}{r}$$

3.3.2. Gleichförmige Bewegung

s = Strecke entlang der Bahnkurve

$$a_{\text{tangential}} = 0$$

$$v_{\text{tangential}(t)} = v_0 = \text{konstant}$$

$$s(t) = v_0 t + s_0$$

3.3.3. Gleichmässig beschleunigte Bewegung

$$a_{\text{tangential}} = a_0 \neq 0$$

$$v_{\text{tangential}(t)} = a_0 t + v_0$$

$$s(t) = \frac{1}{2}a_{\text{tangential}}t^2 + v_0 t + s_0$$

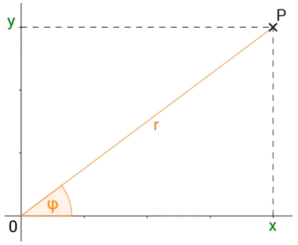
3.4. Kreisbewegung

Kartesische Koordination:

$$\vec{P} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} r \cdot \cos(\varphi) \\ r \cdot \sin(\varphi) \end{pmatrix}}_{\text{Polar -> Kartesisch}}$$

Polarkoordinaten:

$$\vec{P} = \begin{pmatrix} r \\ \varphi \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} |\sqrt{x^2 + y^2}| \\ \tan(\frac{y}{x}) \end{pmatrix}}_{\text{Kartesisch -> Polar}}$$



3.4.1. Winkelgeschwindigkeit

T = Periode (Zeit pro Umdrehung)
f = Drehfrequenz (Umdrehungen pro Sekunde)

Bahngeschwindigkeit:

$$v = r \cdot \omega$$

Drehfrequenz f:

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

Winkelgeschwindigkeit ω:

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

Periode:

$$\omega = 2\pi f$$

3.4.2. Winkelbeschleunigung

a = Winkelbeschleunigung

$$a_{\text{tangential}} = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}r \cdot \omega = r \cdot a$$

3.4.3. Gleichförmige Kreisbewegung

$$a = 0$$

$$\omega = \omega_0 = \text{konstant}$$

$$\varphi(t) = \omega_0 t + \varphi_0$$

3.4.4. Gleichförmig beschleunigte Kreisbewegung

$$a = a_0 = \text{konstant}$$

$$\omega = a_0 t + \omega_0$$

$$\varphi = \frac{1}{2}a_0 t^2 + \omega_0 t + \varphi_0$$

3.5. Wurfbahnen

3.5.1. Senkrechter Wurf

3.5.2. Freier Fall

3.5.3. Horizontaler Wurf

3.5.4. Schiefer Wurf

$$a_x = 0$$

$$v_{x(t)} = v_0 \cdot \cos(a)$$

$$x(t) = v_0 \cdot \cos(a) \cdot t + x_0$$

$$a_y = -g$$

$$v_{y(t)} = v_0 \cdot \sin(a) - g \cdot t$$

$$y(t) = -\frac{1}{2}g \cdot t^2 + v_0 \cdot \sin(a) \cdot t + y_0$$

Bahnkurve y(x):

$$y(x) = \tan(a) \cdot x - \frac{g}{2 \cdot v_0^2 \cdot \cos(a)^2} \cdot x^2$$

Horizontale Distanz zur Zeit t:

$$x(t) = v_0 \cdot \cos(a) \cdot t$$

Vertikale Distanz zur Zeit t:

$$y(t) = v_0 \cdot t \cdot \sin(a) - \frac{g \cdot t^2}{2}$$

Maximale Wurfdistanz:

$$d = \frac{v_0^2}{g} \cdot \sin(2 \cdot a)$$

Maximale Wurfhöhe:

$$h_{\max} = \frac{v_0^2}{2g} \cdot \sin(a)^2$$

Distanz bis zur maximalen Wurfhöhe:

$$X_{\max} = \frac{V_0^2}{g} \cdot \sin(a)^2 \cdot \cos(a) = \frac{d}{2}$$

Konstante horizontale Geschwindigkeit:

$$v_x = v_0 \cdot \cos(a)$$

Vertikale Geschwindigkeit zur Zeit t:

$$v_y = v_0 \cdot \sin(a) - g \cdot t$$

4. Dynamik